



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SYSTÉM ŘÍZENÍ REKREAČNÍHO OBJEKTU

CONTROL SYSTEM FOR A CABIN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Vávra

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Petr Vávra

ID: 191371

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Systém řízení rekreačního objektu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte malý řídicí systém vhodný pro řízení infrastruktury malého rekreačního objektu. Řízeno bude elektrické vytápění a ovládání žaluzií; systém bude umožňovat dálkový přístup.

1. Navrhněte koncepci systému a definujte rozhraní jednotlivých komponent, zvažte možnost využít technologii HomeKit. Systém navrhujte tak, aby případný výpadek komponent neznemožnil využívání objektu.
2. Navrhněte řídicí algoritmy pro ovládání žaluzií a vytápění.
3. Oživte komponenty řídicího systému.
4. Implementujte řídicí algoritmus a dálkový přístup
5. Otestujte funkčnost vyvinutého řešení a řešení zdokumentujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Dokumentace k technologii HomeKit

[2] Dokumentace použitých komponent

[3] Dokumentace k protokolu Modbus: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 8.6.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem řídicího systému elektrického vytápění a elektricky posuvných žaluzií pro rekreační nemovitost s dálkovým přístupem. V teoretické části jsou zmíněny používané metody dálkového přístupu a ovládání, které se používají v komerčních systémech.

V praktické části je navržený systém implementován na programovatelném automatu a Raspberry Pi. Pro dálkové řízení a komunikaci byl vybrán protokol HomeKit, do kterého je integrováno ovládání vytápění i žaluzií. Pro žaluzie byl vybrán a implementován systém automatického řízení pro optimalizaci spotřeby energie.

Klíčová slova

HomeKit, programovatelný automat, Raspberry Pi, venkovní žaluzie, elektrické vytápění

Abstract

This thesis deals with a design of control system for electrical heating and exterior venetian blinds aimed for recreational house with a remote control. The theoretical part contains methods used for house remote control in commercial systems.

In the practical part, the system is implemented on PLC and Raspberry Pi. For remote control and communication, the HomeKit protocol has been chosen. Blinds control and electrical heating system are integrated to the HomeKit. For blinds, automatic control algorithm for energy optimization has been chosen and implemented.

Keywords

HomeKit, programmable logic controller, Raspberry Pi, venetian blinds, electric heating

Bibliografická citace:

VÁVRA, Petr. Systém řízení rekreačního objektu. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124282>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Petr Fiedler.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Systém řízení rekreačního objektu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: **8. června 2020**

.....
podpis autora

Obsah

1.	Úvod.....	12
2.	Analýza používaných technologií.....	13
2.1	Systémy řízení žaluzií.....	13
2.2	Systémy dálkového ovládání domu	14
2.2.1	Elektrobock PT32GTS [56]	14
2.2.2	BMR RT64 a BMR HC64	15
2.2.3	Finder Bliss	15
2.2.4	Nest Learning Thermostat [60], [61], [62]	15
2.2.5	Shrnutí.....	16
2.3	Protokol HomeKit.....	16
2.3.1	Implementace protokolu HomeKit	17
2.3.1.1	HAP-NodeJS.....	17
2.3.1.2	HomeKit ADK.....	17
2.3.1.3	Node-Red HomeKit Bridged	18
2.3.2	Ovládání zařízení aplikací Domácnost	18
2.3.3	Ovládání zařízení pomocí vlastní nativní aplikace	19
2.3.4	Srovnání vlastní nativní aplikace a aplikace Domácnost.....	20
2.3.5	Budoucnost protokolu HomeKit.....	20
2.4	Protokol Modbus.....	20
2.4.1	RS-485	21
3.	Návrh systému	22
3.1	Specifikace referenčního objektu.....	22
3.2	Komponenty systému	23
3.2.1	Žaluzie	23
3.2.1.1	Pohon Somfy J4 RTS.....	24
3.2.1.2	Pohon Somfy J4 io	26
3.2.1.3	Pohon Somfy J4 WT.....	27
3.2.1.4	Srovnání pohonů	29
3.2.1.5	Instalované žaluzie.....	30

3.2.2	Vytápění.....	30
3.2.2.1	Termostat Thermokon LCF02	31
3.2.2.2	Termostat Domat UC102 [18], [19]	33
3.2.2.3	Srovnání termostatů	34
3.2.3	Kontrolér	34
3.2.3.1	Raspberry Pi.....	35
3.2.3.2	PLC	36
3.2.3.3	Srovnání kontrolérů	36
3.2.4	HDO	37
3.3	Blokové schéma a zapojení.....	38
3.4	Software	44
3.4.1	Konfigurace sítě	44
3.4.2	PLC	45
3.4.2.1	Komunikace s Raspberry Pi.....	45
3.4.2.2	Termostaty	45
3.4.2.3	Žaluzie	46
3.4.3	Raspberry Pi.....	47
3.4.4	Aplikace Domácnost.....	50
	Závěr	52
	Seznam příloh	59

Seznam obrázků

Obrázek 1 Pravidla pro řízení venkovní žaluzie pro neobsazenou místnost, přeloženo z [55]	14
Obrázek 2 Úvodní obrazovka aplikace Domácnost [31]	19
Obrázek 3 Struktura komunikačního bloku protokolu Modbus [30].....	21
Obrázek 4 Příklad přenosu 8 bitů po sběrnici RS-485, převzato z [46]	21
Obrázek 5 Půdorys 2. NP referenčního objektu, upraveno z [66]	22
Obrázek 6 Schéma integrace do systému pohonu Somfy J4 RTS, ikony převzaty z [75], [76]	25
Obrázek 7 Návrh integrace s HomeKit pro Somfy J4 RTS	26
Obrázek 8 Schéma integrace do systému pohonu Somfy J4 io, ikony převzaty z [75], [76]	27
Obrázek 9 Schématické zapojení pohonu Somfy J4 WT, převzato z [13]	28
Obrázek 10 Schéma paralelního zapojení lokálního ovladače a kontroléru	28
Obrázek 11 Ovládání pohonu J4 WT pomocí relé.....	29
Obrázek 12 Schéma integrace do systému pohonu Somfy J4 WT, ikony převzaty z [75], [76]	29
Obrázek 13 Termostat Thermokon LCF02, převzato z [15].....	32
Obrázek 14 Schéma zapojení termostatu Thermokon LCF02, převzato z [16].....	32
Obrázek 15 Termostat Domat UC102, převzato z [18]	34
Obrázek 16 Schéma zapojení měření s třífázovým dvousazbovým elektroměrem a třípovelovým přijímačem HDO, převzato z [43].....	38
Obrázek 17 Blokové schéma navrženého systému	38
Obrázek 18 Doporučené připojení začátku sběrnice RS-485 pro modul CB1241, převzato z [38]	40
Obrázek 19 Schéma zapojení systému.....	42
Obrázek 20 Rozvod elektroinstalace systému, doplněno o instalaci [66]	43
Obrázek 21 Schéma sítě, ikony převzaty z [47], [48], [38]	44
Obrázek 22 Postup obsluhy termostatů	46
Obrázek 23 Výstřižek obrazovky z webu pro monitorování	50
Obrázek 24 Ovládací prostředí aplikace Domácnost.....	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 Datový model protokolu Modbus	21
Tabulka 2 Instalovaný výkon ve stropním vytápění	22
Tabulka 3 Přehled vlastností zařízení typu Window Covering, přeloženo z [7]	24
Tabulka 4 Pokyny pro ovladač žaluzie protokolu Somfy RTS, přeloženo z [6]	24
Tabulka 5 Ceny pohonů s příslušenstvím pro integraci do systému, ceny z [5].....	30
Tabulka 6 Přehled vlastností zařízení typu Termostat, přeloženo z [7].....	31
Tabulka 7 Vybrané datové položky Modbus termostatu Thermokon LCF02, přeloženo z [16]	33
Tabulka 8 Ceny termostatů	34
Tabulka 9 Přehled požadované konektivity pro kontrolér	35
Tabulka 10 Ceny kontrolérů se zdroji napájení a komunikačními moduly	37
Tabulka 11 Proudové spotřebiči při $U = 24\text{ V}$	39
Tabulka 12 Adresace termostatů.....	45
Tabulka 13 Registry ovlivněné nastavením termostatu	45
Tabulka 14 Konfigurace Characteristics Service Thermostat	48
Tabulka 15 Konfigurace Characteristics Service WindowCovering	48

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

SRN	...	Spolková republika Německo
GSM	...	Groupe Spécial Mobile (světový standard telekomunikace)
SMS	...	Služba krátkých textových zpráv
LAN	...	Local Area Network (lokální síť)
VPN	...	virtual private network (virtuální privátní síť)
IP	...	Internet Protocol
HTTPS	...	Hypertext Transfer Protocol Secure
WPA-2	...	Wi-Fi Protected Access
ppi	...	Body na palec
WLAN	...	Bezdrátová lokální síť
API	...	Application Programming Interface
Bluetooth LE	...	Bluetooth Low Energy
MFi	...	Made for iPhone
HAP	...	HomeKit Accessory Protocol
PLC	...	Programovatelný logický automat
IEC	...	International Electrotechnical Commission
PoE	...	Power over Ethernet
SPI	...	Serial Peripheral Interface
GND	...	Uzemnění
NTC	...	Negastor
RTU	...	Remote Terminal Unit
TCP	...	Transmission Control Protocol
USD	...	Americký dolar
SDK	...	Software development kit
OSI	...	Open Systems Interconnection
HDMI	...	High-Definition Multi-media Interface
SSH	...	Secure Shell
PDU	...	Protokolová datová jednotka
ADU	...	Aplikační datová jednotka
FB	...	Function block
OB	...	Organization block
NP	...	Nadzemní podlaží

Symboly:

U	...	napětí	[Ω]
I	...	proud	[A]
P	...	výkon	[W]

1. ÚVOD

Cílem práce je navrhnout a implementovat systém pro řízení elektrického vytápění a elektricky posuvných žaluzií pro rekreační nemovitost. K řízení byly tedy vybrány části, které se na energetické náročnosti domácnosti významně podílí [1]**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, případně spotřebu energie mohou ovlivnit [55]. Systém by měl umožňovat vzdálený monitoring a dálkové řízení, pro případ výpadku komunikace zajistit ovladatelnost všech komponent lokálně.

Systém bude navržen pro rekreační objekt. Kvůli úspoře energie jsou tyto objekty v zimním období temperovány na nižší teploty. Vzdálené řízení by mělo umožnit zahájit vytápění i v nepřítomnosti osob. Bylo by tak možné přejít z nižší temperanční teploty na teplotu komfortní pro pobyt ještě před příjezdem uživatele, ale zároveň se vyhnout nutnosti tuto teplotu udržovat po celou dobu nepřítomnosti, což přispěje k optimalizaci spotřeby energie.

V době nepřítomnosti by elektricky ovládané žaluzie měly být řízeny tak, aby v topné sezóně napomáhaly zabránit tepelným ztrátám objektu a případně zajistily příjem tepla slunečním zářením skrze ně. V letním období by automatické řízení mělo pomoci minimalizovat tepelné zisky. Celoročně by měly být žaluzie automaticky chráněny před intenzivním větrem.

Systémy s podobnou funkcionalitou jsou na trhu dostupné, některé budou pro srovnání zmíněny v kapitole 2. Navržené řešení by mělo být postaveno na hardware, který umožní alespoň lokální ovládání bez závislosti na externích službách, aktualizacích, podpoře výrobce apod.

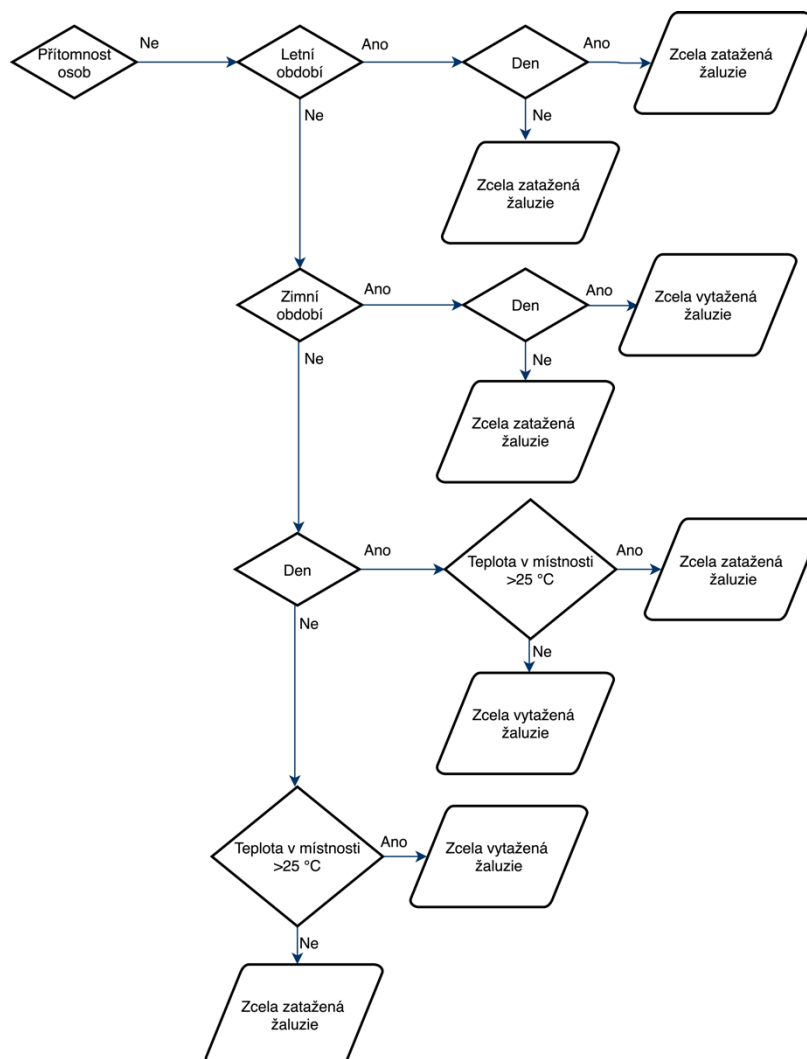
Systém bude testován na referenčním objektu, kterému bude návrh uzpůsoben. V objektu bude vybudována nová elektroinstalace, pro komunikaci v rámci systému se tedy budou přednostně vybírat řešení, která budou nezávislá na bezdrátové technologii.

2. ANALÝZA POUŽÍVANÝCH TECHNOLOGIÍ

2.1 Systémy řízení žaluzií

V [55] uvedená studie se zabývá návrhem, simulací a reálným testováním algoritmu řízení venkovních žaluzií pro kancelářskou budovu. Cílem je automatizovaně zabránit oslnění pracovníků sluncem a minimalizovat energetickou náročnost na vytápění, klimatizaci a svícení. Do navrženého systému vstupují informace z kanceláří o přítomnosti, vnitřní teplotě, osvětlení a z místní venkovní meteorostanice informace o aktuálním počasí. Instalované žaluzie jsou venkovní s tvarem lamel písmene S. Systém řízení žaluzií v budově umožňuje manipulaci s úrovní stažení žaluzie a s úhlem natočení lamel žaluzie.

Navržený algoritmus má definovaná pravidla pro případ nepřítomnosti a sadu fuzzy pravidel pro případ přítomnosti. Algoritmus byl navržen a testován pro budovu ve Freiburgu v SRN, kde je podobné podnebí jako v oblasti referenčního domu. Pro případ nepřítomnosti je navržen algoritmus, který pracuje pouze se vstupy o denní době (den/noc), vytápěcím obdobím (zima, léto, mezidobí). Algoritmus má být vylepšením obvyklého algoritmu pro nepřítomnost, kdy v létě jsou během dne žaluzie celý den zcela zatažené a v zimě celý den zcela vytažené. Navržený algoritmus pro nepřítomnost je zobrazen na Obrázek 1.



Obrázek 1 Pravidla pro řízení venkovní žaluzie pro neobsazenou místnost, přeloženo z [55]

2.2 Systémy dálkového ovládání domu

Na trhu je několik systémů, které umožňují správu domu, případně ovládání jednotlivých komponent jako je vytápění, klimatizace, osvětlení atp. na dálku. V této kapitole budou zmíněno několik systémů, které se liší způsobem komunikace mezi domácnostmi a zařízením vzdáleného ovládání.

2.2.1 Elektrobock PT32GTS [56]

Prostorový termostat pro ovládání elektrického vytápění, který může uživatel ovládat vzdáleně prostřednictvím GSM sítě mobilního operátora, prostředkem komunikace jsou SMS zprávy s předepsaným tvarem. Pomocí SMS zprávy lze na termostatu nastavit požadovanou teplotu, změnit režim vytápění. Termostat vždy potvrdí přijetí pokynu odpovědní SMS zprávou, ve které uvede stavové informace o vytápění jako je aktuální teplota, požadovaná teplota atp. K termostatu jsou dostupné aplikace pro operační

systemy Android a iOS, které umožňují konfiguraci příkazu v SMS zprávě v grafickém prostředí.

2.2.2 BMR RT64 a BMR HC64

Systém centrálního řízení elektrického vytápění pro instalaci do rozvaděče na nosnou lištu. Systém se skládá z výkonové jednotky, řídicí jednotky a teplotních čidel. Řídicí jednotka umožňuje řízení elektrického vytápění v jednotlivých místnostech v závislosti na datech z teplotních čidel, připojení do sítě LAN zajišťuje port Ethernet. Řídicí jednotka také umožňuje řízení žaluziových pohonů [57].

Vzdálené ovládání probíhá přes webový server, který hostuje řídicí jednotka. Ten lze zpřístupnit vzdáleně pouze tehdy, pokud má uživatel připojení k internetu s veřejnou IP adresou. Tento server není doporučeno zpřístupňovat v síti internet přímo přes Port Forwarding, vhodnější je pak přistupovat k němu pomocí VPN do sítě LAN. Další možností je přístup přes webový server společnosti BMR, který slouží jako prostředník komunikace mezi mobilním zařízením a centrální jednotkou, toto řešení nevyžaduje připojení k internetu s veřejnou IP adresou [58]. Centrální jednotka tedy komunikuje se serverem společnosti BMR. Před zahájením ovládání je nutné se v obou případech k webovým serverům přihlásit, ačkoliv ani jeden ze serverů není zabezpečen technologií HTTPS. V návodu není uveden komunikační protokol mezi řídicí jednotkou a serverem společnosti BMR, nelze tedy říct, zda je šifrovaný.

2.2.3 Finder Bliss

Nástěnný termostat s bateriovým napájením pro řízení elektrického vytápění. Termostat má jednoduchý segmentový displej a několik fyzických ovládacích tlačítek. Termostat se připojuje do sítě LAN pomocí Wi-Fi, termostat podporuje Wi-Fi pouze na frekvenci 2,4 GHz a zabezpečení Wi-Fi sítě jedině pomocí WPA2. Přes síť WLAN je termostat připojen k internetu. Termostat nahrává data na tzv. cloud, což budou pravděpodobně servery společnosti Finder. Vzdálené ovládání je pak zajištěno pomocí mobilní aplikace pro operační systémy Android a iOS, které se připojují přes internet ke cloud. Pro přístup do mobilní aplikace je nutné si zřídit uživatelský účet. Aplikace umožňuje nastavení vytápění, časových plánů, sledování vývoje teploty za uplynulé období, tzv. geofencing (automatizaci povelu na základě polohy mobilního zařízení, např. při přiblížení k domu na vzdálenost menší než 5 km) [59].

2.2.4 Nest Learning Thermostat [60], [61], [62]

Nástěnný termostat pro ovládání plynového vytápění, elektrického vytápění, tepelného čerpadla, klimatizace a dalších systémů pomocí signálů o napětí ≈ 24 V. Termostat se fyzicky ovládá otočným stisknutelným kolečkem, kterým se nastavuje požadovaná teplota. Termostat je vybaven barevným displejem s hustotou bodů 229 ppi. Termostat má konektivitu Wi-Fi v pásmech 2,4 a 5 GHz. Přes síť WLAN je termostat připojen k internetu. Termostat se umí samostatně přizpůsobovat dennímu programu uživatele a ročnímu období. Termostat lze vzdáleně ovládat pomocí aplikace pro zařízení iOS a Android [60]. Pro využívání aplikace je nutné mít založený účet u společnosti Google. Termostat sbírá data o využívání a nahrává je na servery společnosti. Ovládání termostatu vzdáleně pomocí mobilních aplikací probíhá přes servery společnosti Google.

V aplikacích lze sledovat spotřebu energie použité k udržování teploty. Navíc je termostat integrován s domácím asistentem Google Home, přes který jej lze hlasově ovládat. K tomu je nutné mít hlasového asistenta Google Home [61]. Pro ovládání termostatu např. vlastní aplikací je zpřístupněno na serverech společnosti Google vývojářské API [62].

2.2.5 Shrnutí

Z vybraných příkladů jsou vidět obvyklá řešení komunikace. Mimo případy ovládání přes mobilní síť GSM a službu SMS je obvyklým nástrojem pro dálkové ovládání domu komunikace přes internet. Prostředkem pro tuto komunikaci jsou pak často aplikace pro mobilní zařízení. Firmy se snaží vyhnout požadavku na zákazníka mít v domě připojení k internetu s veřejnou IP adresou a zamezit pro běžného uživatele složité konfiguraci služby Port Forward domácího směrovače, která je s tímto typem komunikace spojena. Pravděpodobně proto prostředníkem komunikace mezi mobilním zařízením a zařízením v domácnosti je často server výrobce zařízení. To znamená pro uživatele nevýhodu v tom, že firmy většinou nezaručují dobu, po kterou budou servery provozovat. Další nevýhodou může být neznámá doba, po kterou bude udržována mobilní aplikace. Pokud tyto spojené služby výrobce ukončí, uživatel přijde o velmi podstatnou část funkcionalitu produktu.

2.3 Protokol HomeKit

HomeKit je protokol vyvinutý firmou Apple určený pro komunikaci mezi zařízeními výrobce jako jsou mobilní telefony, tablety, hodinky a počítače se zařízeními chytré domácnosti. Komerční výrobce zařízení chytré domácnosti se záměrem vyrábět HomeKit kompatibilní zařízení se musí registrovat do MFi programu firmy Apple. Na základě placeného členství dostane možnost získat specifikaci protokolu a vývojové balíky [17]. Pro hobby vývojáře a kutily je k dispozici nekomerční verze dokumentace [7], která není zcela kompletní, ale umožňuje na jejím základě vytvářet HomeKit kompatibilní příslušenství. Dokumentace nepopisuje některá zařízení kritická na zabezpečení, jako jsou domovní zámky apod.

Podporované komunikační protokoly jsou Bluetooth LE a IP. Komunikace mezi zařízeními je koncově šifrována a autentizována. Zařízení je třeba párovat, k tomu slouží předvolený klíč, který je dodán se zařízením chytré domácnosti. Pomocí předvoleného klíče se na začátku každé komunikace vygeneruje tzv. Session Key, pomocí něhož je následující komunikace šifrována [7].

Komunikace přes protokol IP standardně probíhá pouze v domácí síti, která je zajištěna síťovým směrovačem. Pro komunikaci se zařízením chytré domácnosti mimo domácí síť (ze sítě internet) je třeba využít tzv. Home Hub. Jako Home Hub může fungovat zařízení Apple TV, Apple HomePod nebo Apple iPad (pokud je trvale umístěn v domě) [17]. Pro nastavení Home Hub je vyžadován uživatelský účet iCloud. iCloud je služba společnosti Apple, která umožňuje zálohování dat na serverech společnosti. Komunikace s chytrou domácností z internetu tedy probíhá přes službu iCloud. Firma Apple deklaruje, že komunikace přes službu iCloud je koncově šifrována a firma sama nemá přístup k datům ze zařízení [37].

Protokol definuje několik zařízení chytré domácnosti, které se nazývají Accessory. Každé zařízení Accessory má několik vlastností typu Service. Příklady takovýchto vlastností jsou termostat, senzor přítomnosti, vypínač, světelný senzor. Každá vlastnost

typu Service pak má výčet vlastností nazvaných Characteristic. Příklad Characteristic pro Service typu Window Covering je uveden v kapitole 3.2.1. Protokol zároveň definuje základní výčet obecně použitelných vlastností Characteristic, příkladem vlastnosti je tedy např. Current Position, která v rozsahu 0 až 100 udává polohu žaluzie mezi zcela zataženou a zcela vytaženou. Řetěžením již definovaných vlastností Characteristic lze definovat nové individuální vlastnosti typu Service. Řetěžením vlastních či protokolem předem definovaných Service lze také vytvořit vlastní Accessory.

Protokol z hlediska komunikace definuje 2 role: HAP Client, HAP Accessory Server. Role HAP Client je určena pro zařízení, které ovládá zařízení chytré domácnosti. Role HAP Accessory Server je určena přímo pro zařízení chytré domácnosti. S rolí HAP Client jsou spojeny tyto funkce:

- odesílání požadavků a příjem odpovědí od HAP Accessory Server,
- registrace pro příjem notifikací z HAP Accessory Server.

S rolí HAP Accessory Server jsou spojeny tyto funkce:

- zpřístupnění vlastností, které mohou být dotazovány z HAP Client,
- přijímání příchozích požadavků a odesílání odpovědí,
- odesílání notifikací registrovaným HAP Client.

Právě HAP Accessory Server je nositelem informací o prvcích typu Accessory. HAP Accessory Server může také fungovat v režimu Bridge. Jedná se o režim, kdy jeden Server poskytuje data o více prvcích typu Accessory. V režimu Bridge se tedy jedná o bránu, která zastřešuje více jinak nezávislých zařízení, které např. nejsou samy přímo schopné komunikovat s HomeKit, protože k tomu např. nejsou vybaveny potřebnou konektivitou. [7]

2.3.1 Implementace protokolu HomeKit

Ve vývojářské komunitě je několik volně dostupných implementací protokolu HAP Accessory Server. Zde je uvedeno a rozebráno několik příkladů implementace.

2.3.1.1 HAP-NodeJS

Projekt je napsán v programovacím jazyce TypeScript a využívá prostředí NodeJS [63]. Jedná se o implementaci HAP Accessory Server, která podporuje režim Bridge. Implementace se snaží dosáhnout kompletní specifikace, která je dostupná pouze členům programu MFi pomocí reverzního inženýrství a sama deklaruje, že některé části nemusí být zcela přesné. Je připraveno několik vzorových příkladů pro zařízení typu Accessory s předdefinovanými Service jako je termostat, světlo apod., které lze jednoduše konfigurovat.

Projekt je možné provozovat na zařízení, které je schopné rozběhnout prostředí NodeJS, jako příklad je uvedeno Raspberry Pi nebo Intel Edison. Je podporována pouze konektivita přes IP.

2.3.1.2 HomeKit ADK

Projekt, publikovaný firmou Apple v prosinci roku 2019, je napsán v jazyce C a obsahuje implementaci HAP Accessory Server [64], je tedy určen i pro zařízení s menším výpočetním výkonem. V projektu nejsou kompletně definované vlastnosti typu Service ani Characteristics, které jsou popsány v [7], jejich implementace je ponechána uživateli. Projekt také neobsahuje mnoho příkladů, jsou k dispozici pouze 2 kompletní

funkční implementace pro příslušenství žárovka a zámek. Projekt je stále vyvíjen. Je k dispozici návod pro testování na Raspberry Pi.

2.3.1.3 Node-Red HomeKit Bridged

Rozšíření pro prostředí Node-Red, které usnadňuje v grafickém prostředí zpracování a předávání dat. Je vhodným prostředníkem při předávání dat mezi různými typy konektivity nebo komunikačními protokoly.

Rozšíření je postavené nad zdrojovým kódem projektu HAP-NodeJS a umožňuje do HAP-NodeJS podsouvat konfigurační soubory bez nutnosti je vytvářet ručně. Poskytuje GUI pro konfiguraci HAP-NodeJS a přidává několik předdefinovaných zařízení s poměrně obsáhlou implementační dokumentací.

2.3.2 Ovládání zařízení aplikací Domácnost

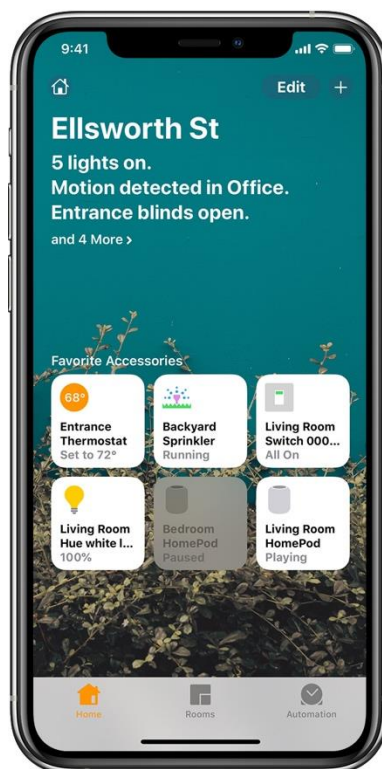
Aplikace klienta pro protokol HomeKit je implementována přímo firmou Apple, v české verzi se nazývá Domácnost a je volně dostupná na platformách macOS, iPadOS, iOS, watchOS.

Aplikace obsluhuje párování a ovládání zařízení chytré domácnosti, umožňuje nastavit scény a automatizovat některé činnosti.

Párování je proces, který probíhá při přidávání zařízení, je nutné zadat nebo naskenovat osmimístný kód, který je dodán se zařízením. Tento kód slouží jako klíč pro šifrování komunikace mezi zařízeními. Při párování je zařízení přiřazena místnost, ve které se nachází, je možné zvolit, zda se jedná o oblíbené zařízení.

Aplikace je členěna pomocí menu v dolní části obrazovky na Domácnost, Místnosti, Automatizace. Výchozí obrazovka je Domácnost. V případě více domácností je umožněn výběr z jejich výčtu. Obrazovka pro jednotlivé domácnosti zobrazuje jednoduchou větou základní přehled o stavu a umožňuje ovládat oblíbená zařízení ve vybrané domácnosti. V obrazovce Místnosti je možné volit ze seznamu místností vybrané domácnosti a v nich ovládat jednotlivá zařízení. Obrazovka Automatizace umožňuje nastavit a spravovat jednotlivé automatizace domácnosti. Lze nastavit scény, které nastaví více zařízení do požadovaného stavu. Aplikace umožňuje využití dat z mobilního zařízení jako spouštěče automatizace: přítomnost členů domácnosti, denní dobu, změnu stavu jiného zařízení. Po zaznamenání spouštěče se provede předem zvolené nastavení zařízení chytré domácnosti, případně spuštění vybrané scény. Vykonavatelem automatizace v domácnosti je vždy Home Hub.

Zařízení chytré domácnosti lze sdílet mezi členy domácnosti pomocí tzv. Rodinného sdílení. Aby členové mohli zařízení ovládat, je třeba, aby měli zařízení, které podporuje aplikaci Domácnost. K spolužívání zařízení může přizvat uživatel, který má zařízení spárované.



Obrázek 2 Úvodní obrazovka aplikace Domácnost [31]

Všechna zařízení je možné ovládat přímo v aplikaci nebo pomocí hlasového asistenta Siri. Pro zrychlení ovládání je možné ovládat oblíbená zařízení přímo z uzamčené obrazovky telefonu s operačním systémem iOS po vysunutí spodní lišty a zvolení ikony domu.

2.3.3 Ovládání zařízení pomocí vlastní nativní aplikace

Protokol HomeKit lze využít jako prostředník pro komunikaci mezi mobilním zařízením. Apple pro vývojáře aplikací uvolňuje framework HomeKit, který umožňuje správu a komunikaci se zařízeními HomeKit. Jedná se o stejný framework, nad kterým je postavena aplikace Domácnost. Lze tedy vytvořit vlastní uživatelské prostředí pro ovládání zařízení pomocí protokolu HomeKit. Data o vytvořených domácnostech, dostupných zařízeních a jejich stavu jsou stále sdílena s aplikací Domácnost [32].

Aplikace se pro platformy iOS, watchOS, macOS implementují ve vývojovém prostředí Xcode, které je dostupné zdarma pro zařízení s operačním systémem macOS. Výchozím programovacím jazykem je Swift.

Nevýhodou implementace vlastní nativní aplikace je způsob její distribuce. V případě individuálního vývojáře, který není členem vývojářského programu Apple Developer Program, lze aplikaci distribuovat pouze přenosem přes kabel mezi vývojářským zařízením s Xcode a mobilním zařízením. Zařízení, na které lze aplikace nahrát, je omezený počet. Za členství v Apple Developer Program se platí poplatek 99 USD ročně [34].

2.3.4 Srovnání vlastní nativní aplikace a aplikace Domácnost

Nativní aplikace umožňuje vyvinout vlastní uživatelské prostředí, které může být pro konkrétní domácnost přizpůsobeno, a může být pohodlnější. Navíc může přinést další funkce jako je záznam hodnot. Aplikace Domácnost je s novými verzemi operačního systému aktualizována tak, aby byla s novou verzí kompatibilní. Při vývoji nativní aplikace je nutné občas provést revizi aplikace a aktualizovat použité SDK na novější verze. Pokud vývojář neaktualizuje použité SDK, pak se může stát, že vlivem užívání zastaralých programových prostředků dojde k nekompatibilitě s novou verzí operačního systému. Řešením může být ponechání staré verze operačního systému. Pro uživatele zařízení je naopak vhodné aktualizace operačního systému instalovat, protože často přináší opravy bezpečnostních chyb. Příkladem nekompatibility s novější verzí operačního systému a nutnosti aktualizovat zdrojový kód aplikací byl přechod na 64bitové verze aplikací, který nastoupil s novým operačním systémem iOS verze 11 [33]. Aplikace Domácnost je dostupná na více platformách. V případě vlastní aplikace by bylo nutné provést úpravy aplikace pro další platformy.

2.3.5 Budoucnost protokolu HomeKit

Firma Apple v článku [35] oznamuje, že se přidala do nové iniciativy Connected Home over Ip, která by měla na konci roku 2020 přinést nové řešení pro propojení chytré domácnosti. Dalšími členy této iniciativy jsou společnosti Amazon a Google, které působí na trhu chytré domácnosti se svými konkurenčními protokoly Google Home a Amazon Alexa. Jak vyplývá z názvu, propojení mezi zařízeními bude realizováno pomocí protokolu IP. Výsledný komunikační protokol má být open source. Firma v článku také oznamuje, že bude pokračovat v podpoře existujících zařízení s protokolem HomeKit.

Lze předpokládat, že nový protokol bude podobný protokolu HomeKit, tím pádem by měla být po publikování nového protokolu zajištěna snadná implementace na zařízení dalších mobilních platform mimo ty, které vyvíjí firma Apple.

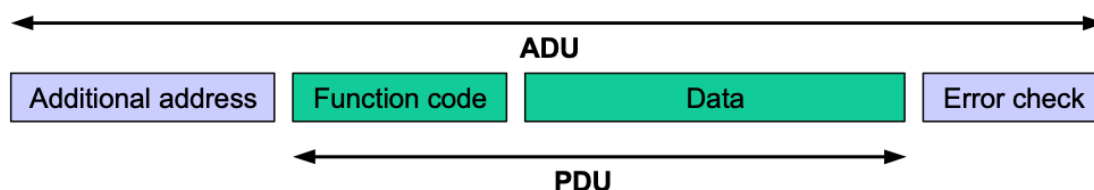
2.4 Protokol Modbus

Modbus je otevřený komunikační protokol, který je v OSI modelu implementován v 7. vrstvě, protokol tedy nedefinuje fyzickou vrstvu přenosového média. Typická fyzická přenosová média jsou RS-232, RS-485 a RS-422 a Ethernet [30]. Komunikace může probíhat mezi různými přenosovými médii zároveň, je možné tedy komunikovat mezi zařízením s RS-232 ze zařízení s RS-485, pokud je mezi nimi převodník tzv. gateway.

Komunikace probíhá v režimu klient – server. Pouze klient může zahajovat dotazy a dotazovat se serveru na data. Server se pokusí na dotaz klienta odpovědět, případně odešle kód výjimky. Server nemá povědomí o klientovi.

Komunikace probíhá v komunikačních blocích. V komunikačním bloku protokol definuje strukturu PDU, která je nezávislá na typu komunikační vrstvy, tato jednotka může být rozšířena do ADU, jejíž struktura je závislá na druhu komunikační vrstvy. PDU se skládá z kódu funkce a dat. Kód funkce má délku 1 byte a významem je požadovaná činnost protistrany, případně chybové hlášení protistraně. Datová část pak slouží jako argument ke kódu funkce, např. k funkci čtení dat přísluší jako argument adresa dat. Rozsah kódu funkce 1-128 je určen pro funkce a rozsah 128-255 je určen pro chybové

odpovědi serveru. Maximální délka PDU je 253 bytů. Doplnění PDU do ADU při přenosu přes RS-485 obsahuje na začátku adresu zařízení a na konci kontrolní součet.



Obrázek 3 Struktura komunikačního bloku protokolu Modbus [30]

Protokol definuje datový model, který zařízení typu server zpřístupňuje klientům. Pro čtení a zápis z datového modelu jsou pak dostupné příslušné funkční kódy. Datový model má tyto tabulky:

Tabulka	Velikost [bit], čtení/zápis
Discrete Input	1, pouze čtení
Coils	1, pouze čtení
Input Registers	16, čtení/zápis
Holding Registers	16, čtení/zápis

Tabulka 1 Datový model protokolu Modbus

Maximální povolená adresa v tabulce je 65536. V paměti serveru se mohou tabulky překrývat, např. adresa 0 tabulky Discrete Input může být v paměti serveru shodná s adresou 0, nultým bitem tabulky Holding Registers. Kódy funkce obsahují hodnoty pro zisk a zápis dat a diagnostiku.

Protokol byl standardizován v roce 1979 a dnes je spravován Modbus Organization.

2.4.1 RS-485

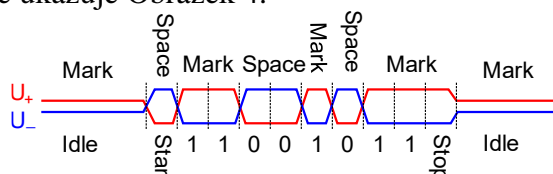
RS-485 je standard sériové komunikace pomocí něhož lze komunikovat po liniové sběrnici s až 32 zařízeními na jedné sériové lince. Maximální délka sběrnice je 1200 m. Pro větší délky kabelu se snižuje doporučená přenosová rychlost [46]. Komunikace probíhá po dvou kroucených vodičích se společným stíněním. Vodiče lze označit názvem RxTx+ a RxTx-, používá se ještě označení A a B, nicméně tyto názvy bývají mezi výrobci zaměňovány. Pro přenos dat se používá dvoustavová logika. Stavby jsou pojmenovány jako Mark a Space. Ve stavu Mark platí:

$$U_{\text{RxTx}+} - U_{\text{RxTx}-} = -200 \text{ mV}$$

a ve stavu Space platí

$$U_{\text{RxTx}+} - U_{\text{RxTx}-} = 200 \text{ mV}$$

Délka dat v rámci je 7, případně 8 bit, rámec začíná start bitem, pokračuje daty a končí 0 až 2 stopbity, případně jedním bitem kontrolního součtu. Příklad přenosu jednoho datového rámce ukazuje Obrázek 4.

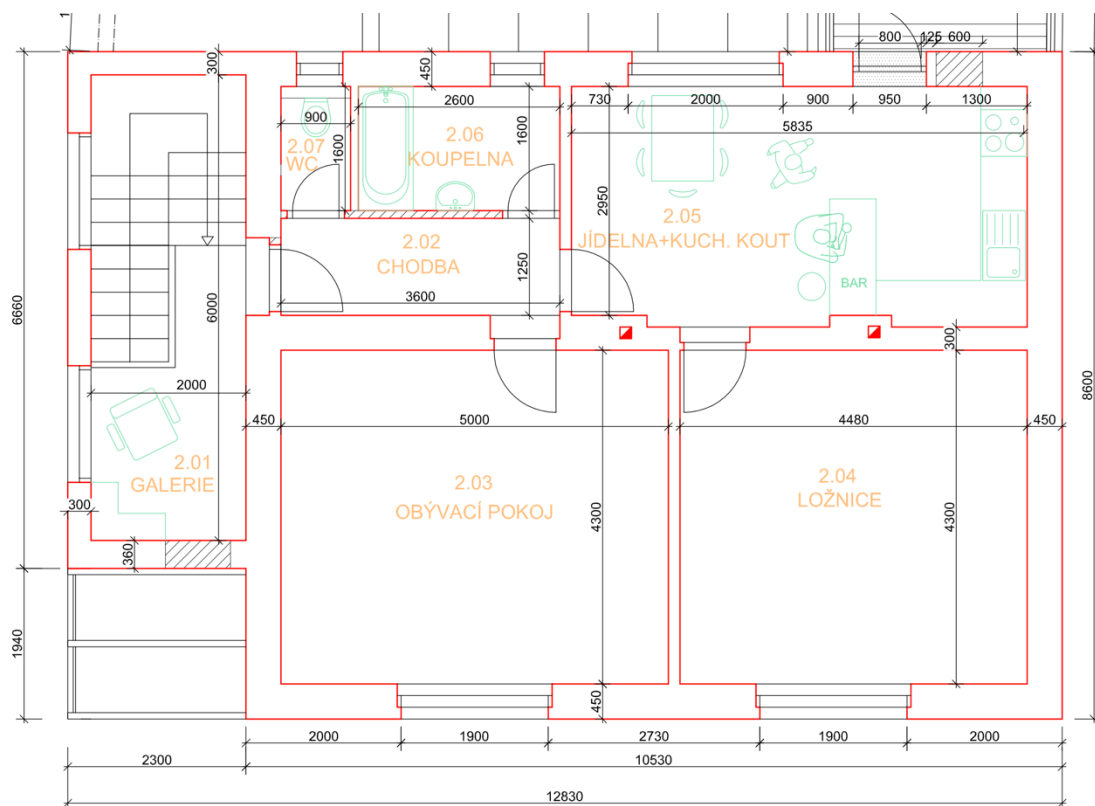


Obrázek 4 Příklad přenosu 8 bitů po sběrnici RS-485, převzato z [46]

3. NÁVRH SYSTÉMU

3.1 Specifikace referenčního objektu

Systém bude instalován a testován v objektu rodinného domu, který je využíván pro rekreační účely. Dům je situován na sever od města Brna v oblasti Moravského krasu. Pro testování bude využito 2. NP, které souběžně s návrhem systému procházelo rekonstrukcí elektroinstalace a byla zde provedena výměna oken. Okna, jež směřují na jihovýchod, jsou osazena venkovními žaluziemi, které byly vybrány s ohledem na možnost řízení a integrace do systému, jak je popsáno v 3.2.1. V tomto patře je instalováno stropní elektrické vytápění, jehož ovládání bude také integrováno do systému.



Obrázek 5 Půdorys 2. NP referenčního objektu, upraveno z [66]

Stropní elektrické vytápění je instalováno v místnostech 2.03 obývací pokoj, 2.04 ložnice, 2.05 jídelna + kuchyňský kout. Termostatové zóny pro tento systém vytápění budou 3. Místnosti 2.03 a 2.04 budou ovládány dvěma samostatnými termostaty, místnosti 2.05 a 2.02 budou sloučeny pod jeden termostat. Ve zbylých místnostech 2.07 a 2.06 budou využity přímotopy s vlastními termostaty.

Označení ve výkresu	Instalovaný výkon [W]
2.03	1 600
2.04	1 440
2.05 a 2.02	1 560

Tabulka 2 Instalovaný výkon ve stropním vytápění

U dodavatele elektrické energie, který v oblasti referenčního domu působí, je možné sjednat lepší cenu za odběr elektrické energie pro nemovitosti využívající k vytápění elektrických nebo hybridních přímotopných spotřebičů. Tato sazba má obchodní název D57d. Jednou z podmínek pro přidělení výhodnější sazby je: „*Odběratel musí zajistit technické blokování topných elektrických spotřebičů v dobách platnosti vysokého tarifu, kromě pohonu kompresoru tepelného čerpadla.*“ [42] Přenos informace o platnosti tarifu zajistí systém HDO, který je popsán v 3.2.4.

3.2 Komponenty systému

V této kapitole je popsán výběr produktů, které budou integrovány do systému a umožní zajistit jeho funkcionalitu.

3.2.1 Žaluzie

Na českém trhu je několik firem, které se zabývají výrobou venkovních žaluzií. Jsou to např. firmy Climax [2], Isotra [3], Neva [4]. Všechny vyjmenované společnosti dodávají jako elektrický pohon žaluzií motory od firmy Somfy [2,3,4]. Z portfolia firmy Somfy byl tedy vybírán žaluziový pohon vhodný pro integraci do systému.

Firma nabízí pro venkovní žaluzie následující řady pohonů [5]:

- Somfy J4 WT,
- Somfy J4 RTS,
- Somfy J4 io.

Ideálním předpokladem na integraci do systému bylo, aby uživatel měl možnost ovládat žaluzii pomocí ovladače v místnosti a zároveň aby bylo ovládání žaluzií integrováno do systému, ze kterého bude možné žaluzie ovládat vzdáleně pomocí protokolu HomeKit. V případě nepřítomnosti uživatele a absence pokynů z HomeKit se budou žaluzie automaticky pohybovat tak, aby zajistily energetickou optimalizaci domu pro dané roční období.

Specifikace protokolu HomeKit nabízí pro žaluzie, tedy typ Window Covering, následující vlastnosti, povinné vlastnosti jsou označeny kurzívou, vlastnosti s možností ovládání uživatelem podtržené [7]:

Vlastnost	Stručný popis
<i>Target Position</i>	Požadovaná pozice, rozsah 0 – 100, krok 1, 0 – žaluzie v dolní pozici (nepropustí světlo), 100 – žaluzie v nejvyšší pozici
<i>Current Position</i>	Aktuální pozice, rozsah 0 – 100, krok 1, 0 – žaluzie v dolní pozici (nepropustí světlo), 100 – žaluzie v nejvyšší pozici
<i>Position State</i>	Stav pozice, rozsah 0 – 2, 0 – pohyb směrem dolů, přibližování k pozici 0, 1 – pohyb směrem nahoru, přibližování k pozici 100, 2 – zastaveno
Name	Název zařízení
Hold Position	Při hodnotě 1 musí žaluzie setrvat v současné poloze

Current Horizontal Tilt Angle	Aktuální úhel horizontálního naklonění, rozsah -90 – 90, krok 1, hodnota 0 znamená zcela otevřené lamely žaluzie, propustí maximum světla
Target Horizontal Tilt Angle	Cílový úhel horizontálního naklonění, rozsah -90 – 90, krok 1, hodnota 0 znamená zcela otevřené lamely žaluzie, propustí maximum světla
Current Vertical Tilt Angle	Aktuální úhel vertikálního naklonění, rozsah -90 – 90, krok 1, hodnota 0 znamená zcela otevřené lamely žaluzie, propustí maximum světla
Target Vertical Tilt Angle	Cílový úhel vertikálního naklonění, rozsah -90 – 90, krok 1, hodnota 0 znamená zcela otevřené lamely žaluzie, propustí maximum světla
Obstruction Detected	Zaznamenána překážka, hodnota 1 značí zaznamenanou překážku, hodnota 0 bez překážky

Tabulka 3 Přehled vlastností zařízení typu Window Covering, přeloženo z [7]

Hodnotám je možné předefinovat rozsah, např. pokud žaluzie není schopna horizontálního natočení v rozsahu 0° až -90°, pak lze rozsah upravit, lze upravit i krok, ve kterém je možné hodnoty nastavovat.

Pro korektní implementaci protokolu HomeKit je nutné naplnit alespoň všechny povinná pole daty a reagovat na přijaté povely z vlastností s možností ovládání uživatelem.

3.2.1.1 Pohon Somfy J4 RTS

Pohon Somfy RTS má integrovanou řídicí jednotku, která brání pojezdu za nastavenou krajní horní a spodní pozici, pokyny od uživatele přijímá z bezdrátových ovladačů. Komunikace mezi ovladači a pohonem probíhá jednosměrně na frekvenci 433,42 MHz pomocí protokolu RTS.

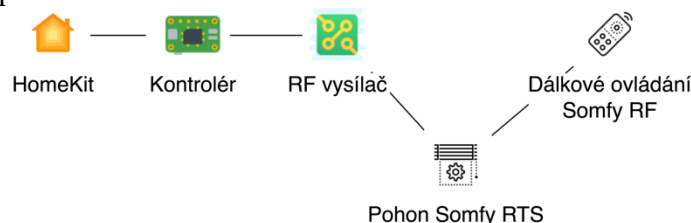
Protokol má pro ovladače pohonů žaluzií vyhrazené následující pokyny [6]:

Hodnota	Tlačítka na ovladači	Popis
0x1	My	V případě pohybu pohonu zastavit, jinak posunout do přednastavené pozice My
0x2	Up	Zahájení pohybu nahoru
0x3	My + Up	Nastavení horní koncové pozice
0x4	Down	Zahájení pohybu dolů
0x5	My + Down	Nastavení dolní koncové pozice
0x6	Up + Down	Zahájení programování a nastavování horní a dolní koncové pozice
0x8	Prog	Párování, případně odpárování ovladače
0x9	Sun + Flag	Zapnutí slunečního a větrného ovládání, nutný externí hardware Somfy Telis Soliris RC
0xA	Flag	Vypnutí slunečního a větrného ovládání

Tabulka 4 Pokyny pro ovladač žaluzie protokolu Somfy RTS, přeloženo z [6]

Pomocí protokolu RTS je možné pohon ovládat z 1 až 12 ovladačů. Každý ovladač musí být s konkrétním pohonem spárován. S jedním ovladačem je možné ovládat více pohonů [9].

Do systému by bylo možné tento protokol integrovat pomocí RF vysílače, jehož konstrukce je popsána v [8] a kontroléru. Tato sestava by imitovala další ovladač [8]**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Z kontroléru by pak bylo možné žaluzie ovládat. Kontrolér by v tomto schématu neměl přehled o aktuální poloze žaluzie, protože uživatel by mohl lokálním ovladačem kdykoliv polohu žaluzie změnit. Kontrolér by tedy nemohl korektně předávat protokolu HomeKit hodnotu CurrentPosition.



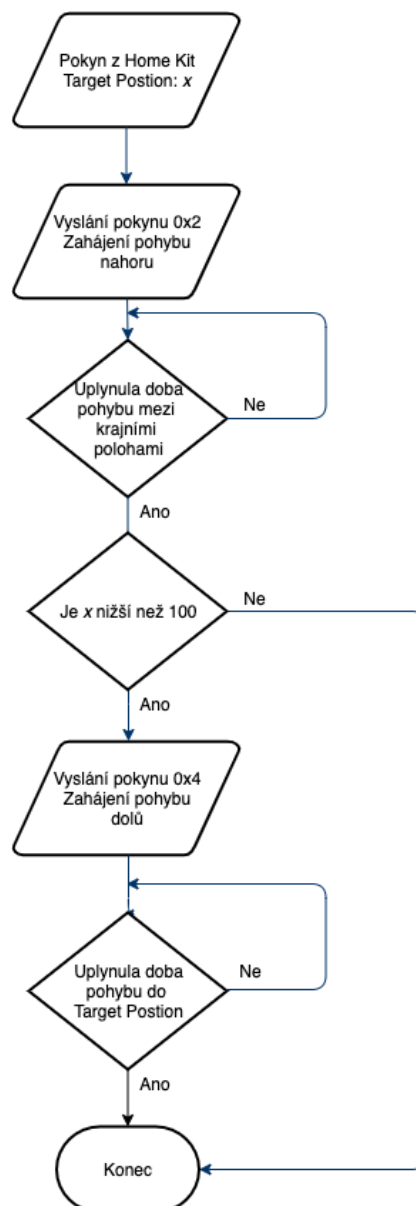
Obrázek 6 Schéma integrace do systému pohonu Somfy J4 RTS, ikony převzaty z [75], [76]

Pokud by uživatel chtěl skrze kontrolér dostat žaluzii do určité pozice, která byla přijata jako pokyn z HomeKit, např. Target Position na hodnotu 50, pak by kontrolér musel nejprve žaluzii dostat pozice, kde je poloha žaluzie známá a až poté zahájit posun do zvolené Target Position.

Jednoduše dosažitelné známé pozice jsou krajní horní, krajní dolní. Řídící jednotka pohonu zahájí pohyb do příslušné krajní pozice, pokud dostane krátký pokyn k pohybu daným směrem. Například při pokynu k pohybu nahoru zahájí pohyb tímto směrem a pokračuje, než se dostane do krajní horní pozice [9]. Dobu pohybu do zvolené Target Position od krajní pozice by bylo možné dopočítat ze znalosti doby pohybu mezi krajními pozicemi podle následujícího vztahu:

$$t = \frac{100 - x}{100} \cdot t_{celk}$$

Kde t , je doba pohybu do Target Position, x je zvolená pozice Target Position a t_{celk} je doba pohybu z krajní horní do krajní dolní pozice.



Obrázek 7 Návrh integrace s HomeKit pro Somfy J4 RTS

Uživatel může pomocí lokálního ovladače kdykoliv přenastavit koncové pozice, a tím pádem změnit dobu pohybu žaluzie mezi koncovými polohami [9].

Tyto komplikace by bylo možné odstranit zavedením zpětné vazby o poloze žaluzie. Bylo by tedy nutné přidat k žaluzii snímač polohy, který by pracoval ve venkovním prostředí. Další možností je ovládání žaluzie pouze přes kontrolér, pak by polohu žaluzie nemělo ovlivnit nic jiného.

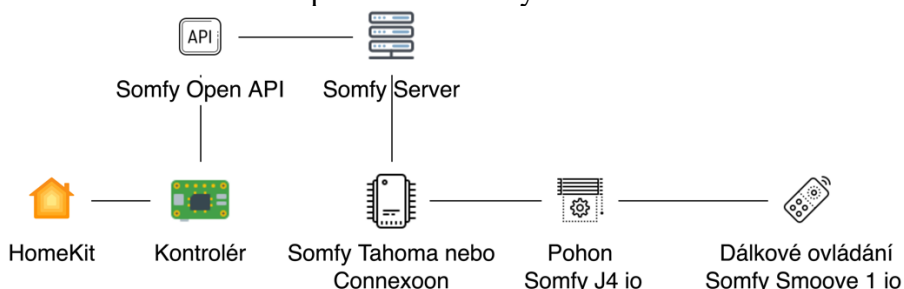
3.2.1.2 Pohon Somfy J4 io

Pohon Somfy io je podobný pohonu Somfy RTS. Také má integrovanou řídicí jednotku, která brání pojezdu za nastavenou krajní horní a krajní dolní pozici.

Ovládání pohonu je založeno na obousměrném bezdrátovém protokolu io-homecontrol. Tento protokol mezi sebou sdílí několik výrobců, je šifrovaný a jeho specifikace není otevřená [11].

Pro integraci do systému by bylo třeba využít integrační bránu domácnosti, kterou firma Somfy dodává a následně otevřené API ze serverů firmy Somfy. S žaluziemi jsou kompatibilní 2 integrační brány Somfy Tahoma a Somfy Connexoon [5]. Otevřené API pak může volat v pravidelných intervalech kontrolér a stavové informace předávat protokolu HomeKit. Specifikace API naznačuje, že by mělo být možné získat dostatek informací pro naplnění povinných položek protokolu HomeKit [12].

Nevýhodou architektury je nutnost pořízení integrační brány a závislost řešení na poskytování API na serverech společnosti Somfy.

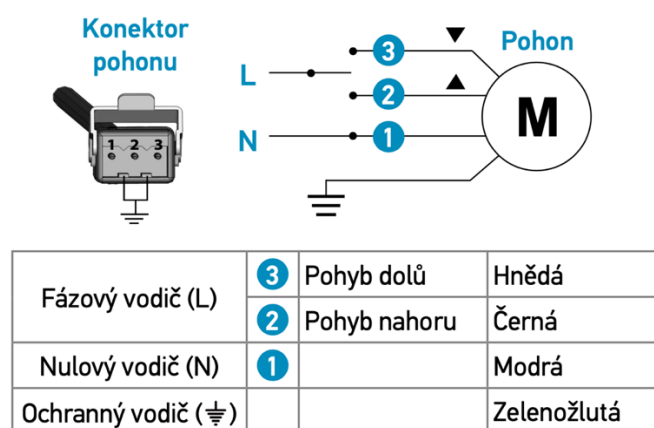


Obrázek 8 Schéma integrace do systému pohonu Somfy J4 io, ikony převzaty z [75], [76]

3.2.1.3 Pohon Somfy J4 WT

Pohon má obdobně jako ostatní integrovanou řídicí jednotku, ve které jsou uloženy horní a dolní koncová poloha, pohon brání pojezdu za tyto krajní polohy. Pohon se připojuje do rozvodné sítě pomocí 4 vodičů podle Obrázek 9. Pohon se ovládá přivedením síťového potenciálu na svorku „Pohyb nahoru“ nebo na svorku „Pohyb dolů“. Po přivedení potenciálu pohon zahájí pohyb příslušným směrem. Pohyb trvá po dobu kontaktu potenciálu s jednou z ovládacích svorek. Pro korektní ovládání je nutné dodržet následující pravidla [13]:

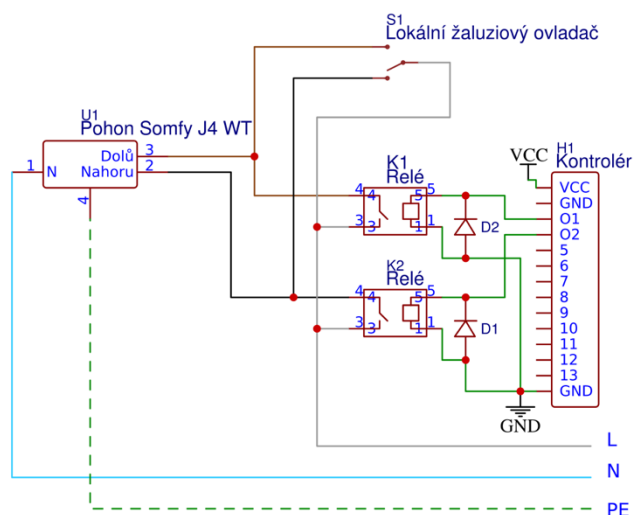
- potenciál nesmí být přiveden na obě ovládací svorky zároveň,
- prodleva mezi povely nahoru a dolů musí být minimálně 500 ms,
- délka povelu musí být minimálně 180 ms.



Obrázek 9 Schématické zapojení pohonu Somfy J4 WT, převzato z [13]

V návodu k pohonu se povoluje k ovládání povelů použít elektromechanických prostředků, např. relé [13]. Lze tedy ke kontroléru připojit relé, a tím spínat napětí k každé ovládacím svorkám pohonu. Dále pomocí software zajistit, aby byla dodržena výše zmíněná pravidla pro ovládání.

Aby byl dodržen požadavek na řízení ovladačem v místnosti nabízí se možnost použít relé připojené ke kontroléru a lokální žaluziový ovladač v paralelním zapojení. Toto zapojení není vhodné, protože není možné zajistit, aby nepřišel např. povel nahoru z lokálního ovladače a zároveň z kontroléru povel dolů, což by bylo v rozporu s pravidly definovanými výše. Navíc kontrolér opět nemá přehled o pozici žaluzie, protože ji uživatel může kdykoliv změnit.



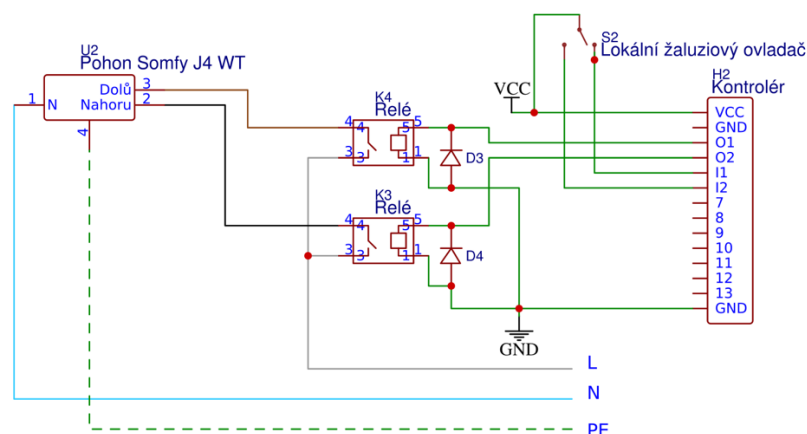
Obrázek 10 Schéma paralelního zapojení lokálního ovladače a kontroléru

Oba problémy by bylo možné vyřešit zavedením zpětné vazby z lokálního žaluziového ovladače na vstup kontroléru a softwarově ošetřit zastavení výstupů O1 a O2 v případě detekce povelu z lokálního ovladače. Toto řešení spočívá na dostatečnou rychlost kontroléru, který musí zabránit protisměrnému povelu z kontroléru a lokálního ovladače, řešení neumožňuje zajistit minimální délku povelu a prodlevu mezi povely.

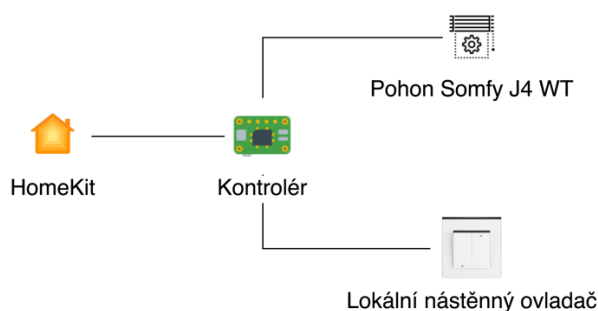
Pro konečný návrh bylo vybráno řešení s přivedením výstupu z lokálního žaluziového ovladače na vstup kontroléru a ovládání žaluzií pouze skrze kontrolér a připojená relé viz Obrázek 11. Toto řešení umožní pomocí software implementovat všechna pravidla korektně. Navíc lze implementovat komfortní otvírání a zavírání žaluzií pro lokální ovladač, kdy kontrolér po povelu jedním směrem delším než 2 s nechá pohon dojet do krajní pozice. Při pojezdu do krajní pozice bude možné pohyb zastavit krátkým povelům opačným směrem. Další výhodou může být zamezení povelům z lokálního ovladače pro případ, kdy kontrolér detekuje silný vítr.

Pro integraci s HomeKit bude nutné implementovat do kontroléru monitorování aktuální polohy žaluzie. Kontrolér může polohu odvozovat z délky trvání jednotlivých výstupů na pohon a ze znalosti celkové doby pojezdu z krajní horní do krajní dolní pozice.

Řešení klade nároky na nepřetržitou korektní funkčnost kontroléru, při jeho výpadku dojde k znemožnění ovládání žaluzie lokálním ovladačem. Tato nevýhoda nicméně převyšuje nevýhody ostatních konceptů.



Obrázek 11 Ovládání pohonu J4 WT pomocí relé



Obrázek 12 Schéma integrace do systému pohonu Somfy J4 WT, ikony převzaty z [75], [76]

3.2.1.4 Srovnání pohonů

Pro porovnání pohonů je v Tabulka 5 uvedena jejich cena zároveň s lokálním ovladačem do místnosti pro každou žaluzii a integrační jednotkou. Pro každý pohon je nutné uzpůsobit výběr kontroléru a jeho konektivitu pro integraci.

	Položka	Popis	Ks	Cena za kus [Kč]	Cena celkem [Kč]
Pohon Somfy J4 io	J406 io Protect	Pohon	2	7 629,71	15 259,42
	Smoove 1 io	Lokální ovladač	2	1 230,00	2 460,00
	TaHoma box io	Řídicí jednotka	1	7 800,00	7 800,00
					25 519,42
Pohon Somfy J4 RTS	J406 RTS	Pohon	2	7 779,72	15 559,44
	Smoove 1 RTS	Lokální ovladač	2	1 230,00	2 460,00
					18 019,44
Pohon Somfy J4 WT	J406 WT	Pohon	2	4 082,54	8 165,08
	INIS MOUNTED BOX MP	Lokální ovladač	2	380,73	761,46
					8 926,54

Tabulka 5 Ceny pohonů s příslušenstvím pro integraci do systému, ceny z [5]

Z popsáných vlastností jednotlivých pohonů vychází pro integraci nejlépe pohon Somfy J4 WT. Lze pro něj pomocí kontroléru implementovat povinné vlastnosti z protokolu HomeKit, pro lokální ovládání není třeba být závislý na bezdrátovém řešení, externích webových službách a není třeba pro zjištění pozice žaluzie instalovat snímače polohy. Další předností tohoto pohonu je cena a jednoduchost lokálních ovladačů.

3.2.1.5 Instalované žaluzie

Žaluzie byly vybrány od společnosti NEVA, konkrétně model Z-90. V instalovaných rozměrech (výška 1750 mm a šířka 1970 mm) jsou poháněny 6 Nm verzí pohonu Somfy J4 WT, značenou J406 WT. Pohon má dle [13] příkon 95 W při napětí ~230 V. Žaluzie jsou vedeny po obou stranách ve vodicích profilech zapuštěných do fasády. Podle dat výrobce jsou v této konfiguraci odolné proti větru o rychlosti 74 km/h [14].

Lamely lze naklápět v úhlu 0° až 90°. Při pohybu směrem dolů se lamely naklopí do úhlu 90°, kdy propustí nejméně světla. Při pohybu směrem nahoru se naopak naklopí do úhlu 0°, kdy propustí nejvíce světla.

3.2.2 Vytápění

V referenčním objektu bylo rozhodnuto o instalaci stropního elektrického vytápění do sádkartonového podhledu. Konkrétně byl vybrán systém Fenix ECOFILM C. Tento systém není z výroby osazen žádným regulačním zařízením a je třeba jej doinstalovat. Topení by mělo být možné ovládat v každé místnosti lokálně a zároveň by mělo být integrováno do systému. K lokálnímu ovládání obvykle slouží pokojové termostaty. Cílem je tedy vybrat pokojový termostat, který by bylo možné ovládat externím programovým vstupem. Jako vhodný protokol pro komunikaci byl vybrán Modbus RTU.

Ideálním předpokladem pro integraci do systému je, aby termostat bylo možné ovládat pomocí protokolu HomeKit. Pro termostaty je dostupná specifikace typu Service Thermostat.

Pro typ Thermostat jsou dostupné následující vlastnosti (Characteristics), povinné vlastnosti jsou označeny kurzívou, vlastnosti s možností ovládání uživatelem jsou podtržené [7]:

Vlastnost	Stručný popis
<i>Current Heating Cooling State</i>	Aktuální režim termostatu, rozsah 0 – 2, 0 – vypnuto, 1 – vytápění, vytápění je momentálně zapnuto, 2 – chlazení, chlazení je momentálně zapnuto.
<u>Target Heating Cooling State</u>	Cílový režim termostatu, rozsah 0 – 3, 0 – vypnuto, 1 – vytápění, pokud je teplota pod cílovou teplotou, pak zapnout topení, 2 – chlazení, pokud je teplota nad cílovou teplotou, pak zapnout chlazení, 3 – automaticky, automatické spínání chlazení a vytápění pro udržení cílové teploty
<i>Current Temperature</i>	Aktuální teplota, rozsah 0 – 100, jednotky dle <i>Temperature Display Units</i>
<u>Target Temperature</u>	Požadovaná teplota, rozsah 0 – 100, jednotky dle <i>Temperature Display Units</i>
<i>Temperature Display Units</i>	Jednotka teploty, rozsah 0 – 1, 0 – Celsius, 1 – Fahrenheit
Cooling Threshold Temperature	Prahová teplota chlazení, rozsah 10 – 35 °C, krok 0,1 °C teplota, která musí být při automatickém režimu překročena před zahájením chlazení
Current Relative Humidity	Aktuální relativní vlhkost, rozsah 0 – 100 %, krok 1 %
Heating Threshold Temperature	Prahová teplota vytápění, rozsah 10 – 35 °C, krok 0,1 °C teplota, která musí být při automatickém režimu překročena před zahájením chlazení
Name	Název zařízení
Target Relative Humidity	Cílová relativní vlhkost, rozsah 0 – 100 %, krok 1 %

Tabulka 6 Přehled vlastností zařízení typu Thermostat, přeloženo z [7]

3.2.2.1 Termostat Thermokon LCF02

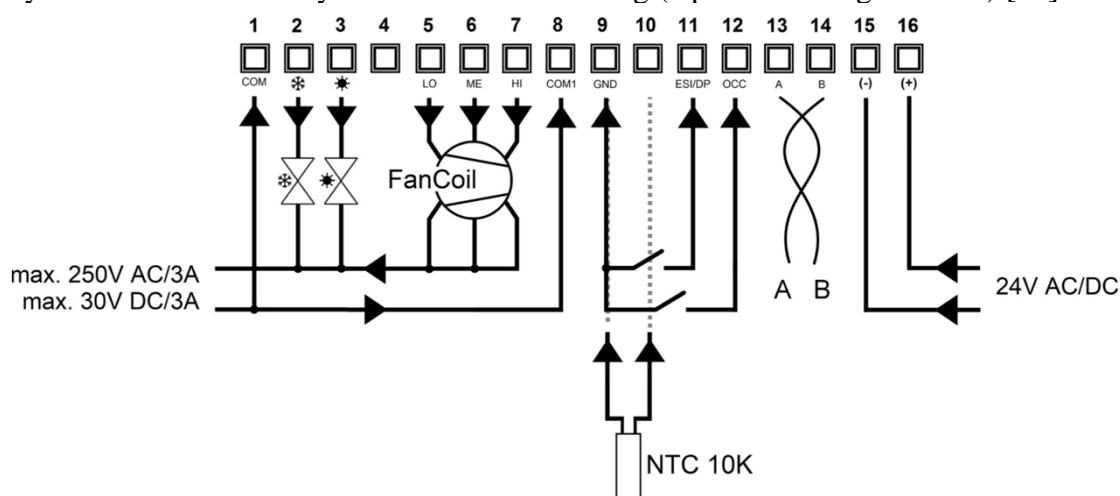
Termostat je určen k ovládání fan-coil jednotek pomocí 5 reléových výstupů. Jeden výstup je určen pro ovládání chlazení, druhý výstup pro ovládání topení, zbylé 3 slouží pro ovládání intenzity větrání. Termostat disponuje vstupy pro externí čidlo teploty na principu NTC, čidlo přítomnosti a pro blokování vytápění. S termostatem lze komunikovat pomocí protokolu RS-485 Modbus RTU. Lokálně uživatel může na termostatu nastavit požadovanou pokojovou teplotu, požadovaný režim z nabídky: vypnuto, chlazení, vytápění, automaticky, ECO, ventilace. Další parametry a nastavení lze modifikovat pomocí protokolu Modbus.



Obrázek 13 Termostat Thermokon LCF02, převzato z [15]

Dle specifikace v [16] se nabízí možnost využití i pro regulaci vytápění ovládaného jedním reléovým výstupem, protože režim větrání lze pomocí Modbus trvale deaktivovat a případný výstup chlazení je možné ignorovat. Termostat lze instalovat na stěnu místnosti do instalační krabice KU 68. Výchozím regulátorem teploty je reléová regulace s nastavitelnou hysterezí. Výchozí hodnota hystereze je 0,1 °C.

Termostat má dva konfigurovatelné externí vstupy, které se aktivují sepnutím spojení svorky externího vstupu a svorky GND. Externí vstup umožňuje vypnout vytápění v případě neaktivního vstupu. Toto řešení by umožnilo přivést signál z HDO do termostatu, a tím zajistit spínání pouze v době povelu k vytápění. Nastavení externího vstupu na blokování topení mimo signál HDO lze provést nastavením Holding Register, adresy 336 na hodnotu 5 s významem Disable heating (Open = Heating disabled) [16].



Obrázek 14 Schéma zapojení termostatu Thermokon LCF02, převzato z [16]

Pro integraci do systému by bylo možné využít protokolu Modbus RTU, přes který by termostat komunikoval s kontrolérem. Tabulka 7 uvádí datové položky, které termostat dává k dispozici v Holding Registers a které odpovídají vlastnostem Service Thermostat z protokolu HomeKit. S výjimkou adres 277 a 514, které navíc definují režim ECO, lze povinné vlastnosti Service Thermostat naplnit. V režimu ECO termostat trvale zachovává předdefinovanou požadovanou teplotu, předdefinovanou hodnotu lze měnit pouze pomocí protokolu Modbus, lokální zásahy uživatele fyzickými tlačítky pro změnu požadované teploty jsou v tomto režimu ignorovány.

Modbus adresa, čtení/zápis	Stručný popis	Podobná vlastnost HomeKit Thermostat
277, <i>pouze čtení</i>	Režim komfort: 0 – vypnuto, protizámrazová ochrana aktivní, 1 – auto, přepínání mezi topením a chlazením, 2 – topení, 3 – chlazení Režim ECO: 16 – vypnuto, protizámrazová ochrana aktivní, 17 – auto, přepínání mezi topením a chlazením, 18 – topení, 19 – chlazení	Current Heating Cooling State
514, <i>čtení/zápis</i>	Režim komfort: 0 – vypnuto, protizámrazová ochrana aktivní, 1 – auto, přepínání mezi topením a chlazením, 2 – topení, 3 – chlazení Režim ECO: 16 – vypnuto, protizámrazová ochrana aktivní, 17 – auto, přepínání mezi topením a chlazením, 18 – topení, 19 – chlazení	Target Heating Cooling State
513, <i>čtení/zápis</i>	Požadovaná teplota, rozsah a jednotky jsou definovány ostatními adresami	Target Temperature, Current Temperature
257, <i>čtení/zápis</i>	Jednotka teploty, 0 – Celsius, 1 – Fahrenheit	Temperature Display Units

**Tabulka 7 Vybrané datové položky Modbus termostatu Thermokon LCF02,
přeloženo z [16]**

3.2.2.2 Termostat Domat UC102 [18], [19]

Termostat je podobný zmíněnému termostatu Thermokon LCF02. Termostat je určen pro regulaci vytápění jedním dvoustavovým výstupem. Termostat má vstup pro detektor přítomnosti a pro okenní kontakt. Termostat umožňuje komunikaci pomocí protokolu RS-485 Modbus RTU. Lokální ovládání termostatu umožňuje nastavení požadované teploty, výběr z výčtu režimů Party, Den, Noc, Vypnuto, Auto a předvolit týdenní časový program, který umožňuje měnit stav kontroléru mezi režimy Den, Noc a Vypnuto.



Obrázek 15 Termostat Domat UC102, převzato z [18]

Právě týdenní časový program znesnadňuje integraci s protokolem HomeKit, protože ten neobsahuje definici Service, která umožní časové programování [7]. Tento problém je možné vyřešit nastavením blokování editace časového programování lokálně uživatelem přes Modbus a nastavením všech programových událostí na neaktivní. Toto nastavení by mělo vést ke stálému udržování aktuálně zadaného stavu.

Další nevýhodou je nemožnost nastavit požadovanou teplotu přímo, jak vyžaduje specifikace protokolu HomeKit. Lze pouze editovat požadovanou teplotu pro vybraný režim, případně uživatelskou korekci požadované teploty. K požadované teplotě pro aktuální režim může uživatel nastavit korekci v určitém rozsahu, který lze definovat pomocí protokolu Modbus, maximální rozsah je $\langle -10; 10 \rangle$ °C. Uživatelská korekce je resetována při změně režimu a její hodnotu lze nastavit pomocí protokolu Modbus. Lze tedy volně nastavovat teplotu pouze v okolí požadované teploty pro vybraný režim.

Termostat je schopen spínat pouze stejnosměrné napětí 24 V, proto by bylo také nutné využít k spínání topení instalační relé nebo stykač. Termostat se instaluje na stěnu.

3.2.2.3 Srovnání termostatů

Oba zmíněné termostaty jsou si podobné svou funkcionalitou. Integrace s protokolem HomeKit se zdá jednodušší s termostatem Thermokon LCF02. U tohoto termostatu je také jednodušší uživatelské rozhraní, fyzické provedení je menší, další předností je nižší cena.

Položka	Cena [Kč]
Thermokon LCF02	2 286,90 ^[20]
Domat UC102	2 772,40 ^[21]

Tabulka 8 Ceny termostatů

3.2.3 Kontrolér

Tato kapitola se zabývá výběrem kontroléru pro systém. Při výběru kontroléru bylo nutné zhodnotit požadavky na jeho funkčnost, které vycházejí z předchozích kapitol. Pro konektivitu jsou uvedeny v Tabulka 9.

Z ostatních vlastností jsou to především:

- monitorování exteriérových povětrnostních podmínek pomocí webových služeb,
- nepřetržitý běh kontrolní smyčky pro žaluzie,
- monitorování a ovládání termostatů,

- předání stavových informací protokolu HomeKit,
- dlouhá podpora produktu ze strany výrobce.

Kontrolér by měl být umístěn v kovovém rozvaděči na nosnou lištu.

Typ konektivity	Počet	Účel
Reléový výstup, napětí ~230 V, spínatelný indukční příkon 95 W [13]	4	Ovládání pohonů žaluzií
Digitální vstup	4	Příjem pokynů od lokálních ovladačů žaluzií
RS-485 Modbus RTU	1	Komunikace s termostaty
IP konektivita	1	Komunikace s HomeKit

Tabulka 9 Přehled požadované konektivity pro kontrolér

3.2.3.1 Raspberry Pi

Doporučeným kontrolérem ze strany vývojářů pro využití kterékoliv z implementací protokolu HomeKit, které jsou zmíněny v kapitole 2.3.1, je Raspberry Pi. Jedná se o malý jednodeskový počítač s procesorem architektury ARM, který je vyvíjen organizací Raspberry Pi Foundation. Od roku 2012 bylo vydáno několik verzí tohoto počítače. Verze se liší výkonem procesoru, konektivitou, velikostí desky. Pro všechny verze je k dispozici upravená verze operačního systému Debian, která se nazývá Raspbian [22]. Vzhledem k tomu, že kontrolér má být umístěn v kovovém rozvaděči, budou kvůli stabilitě IP konektivity voleny verze, které disponují připojením Ethernet.

Produktový cyklus Raspberry Pi lze odvodit od nejstarších verzí. Verzi 1 model B, vydaný v roce 2012, nahradil v roce 2014 model B+, který zachovává procesor i paměť a mění některé periferie. Verze 1 model B a verze 1 model A jsou nyní jediné verze, které se již nevyrábí [22], ale stále rozběhnou nejnovější verzi operačního systému Raspbian [24]. Raspberry Pi Foundation deklaruje, že verzi 1 model B+ bude vyrábět nejméně do ledna roku 2026 [25]. Podpora software a hardware pro tuto verzi Raspberry Pi potrvá tedy nejméně 12 let od prvního vydání produktu.

Kompromisem mezi datem vydání, a tedy od něj odvíjející se délkou trvání podpory, spotřebou elektrické energie a výpočetním výkonem může být verze 3B+. Tuto verzi jako první lze napájet pomocí PoE, což je výhodou při umístění na nosnou lištu v rozvaděči např. pomocí Italtronic Embedded Box Raspberry Pi 3 B/B+ [67], protože konektor Ethernetu je umístěn na kontroléru zespodu, kdežto standardní napájecí konektor micro-USB je umístěn z boku, při připojení by v rozvaděči zabíral místo, které lze využít pro další moduly. Tato verze byla vydána v roce 2018 a podle [27] má v provozu bez zátěže o 0,8 W nižší spotřebu než novější verze 4, a to jmenovitě 1,9 W.

Žádná z verzí Raspberry Pi přímo nedisponuje veškerou konektivitou, která je zmíněna v Tabulce 9. Řešením může být UniPi Neuron, což je rozšíření postavené nad Raspberry Pi s požadovanou konektivitou. Rozšíření konektivity je dosaženo pomocí dalších procesorů na architektuře ARM a periferních součástek, které jsou s Raspberry Pi propojeny sběrnici SPI. UniPi Neuron je dodáván v kovovém pouzdře, které je přizpůsobeno pro osazení na nosnou lištu v rozvaděči. K UniPi je výrobcem dodáván software, který je postaven nad operačním systémem Raspbian a umožňuje běh Node-Red, tím by měla být zaručena možnost implementace protokolu HomeKit pomocí Node-Red-Contrib-Homekit-Bridged. Požadavky na konektivitu splňuje verze M103, která přímo disponuje reléovými výstupy [23].

Výrobce UniPi Neuron nedeklaruje dobu délky trvání podpory software ani dobu výroby produktů. Hlavním dodávaným a podporovaným software ze strany výrobce je Mervis, který je určen pro programování UniPi Neuron v programovacích jazycích standardu IEC 61131-3.

3.2.3.2 PLC

Vhodným kontrolérem, který disponuje požadovanou konektivitou a zajistí potřebnou spolehlivost by mohlo být PLC. PLC bylo vybíráno z nabídky firmy Siemens, která má v tomto odvětví na globálním trhu největší podíl [26]. Výpočetním výkonem a parametry je vhodná řada S7-1200, která je určená pro menší systémy a na rozdíl od základní řady LOGO! podporuje programování pomocí jazyků standardu IEC 61131-3 [38]. Z řady bylo vybráno CPU 1212C ve verzi s napájením ze sítě ~230 V, 8 digitálními vstupy na napětí =24 V a 4 reléovými výstupy. Pro získání konektivity po RS485 protokolem Modbus RTU lze vložit do CPU komunikační modul. PLC má port Ethernet a podporuje protokol Modbus TCP a komunikaci přes TCP/IP. PLC se standardně instaluje na nosnou lištu v rozvaděči.

PLC se programuje pomocí software výrobce, který se nazývá Siemens TIA Portal. TIA Portal nepodporuje programování PLC v programovacím jazyce C. V požadavcích na hardware pro implementaci protokolu HomeKit v [7] se uvádí požadavek na podporu protokolu DHCP a dalších, kterou PLC nemá [28]. Implementace protokolu HomeKit přímo na tento model PLC je tedy nemožná.

V [29] je popsán standardní produktový cyklus u produktů firmy Siemens. PLC z řady S7-1200 jsou nyní ve fázi aktivního katalogového zboží. Po ukončení této fáze tzv. Maturity Announcement bude možné po dobu jednoho roku koupit zboží nové. Po uplynutí této doby bude možné během následujících 9 let zajistit výměnu náhradních dílů, vyměnit vadný výrobek. Po ukončení této doby produkt pozbývá hardware podporu. Po celou dobu hardware podpory by měla být zajištěna i podpora software.

3.2.3.3 Srovnání kontrolérů

Raspberry Pi je vhodným prostředkem pro implementaci protokolu HomeKit. Nedisponuje veškerou potřebnou konektivitou, tu by bylo možné postavit na vlastní desce plošných spojů, případně využít komerční UniPi Neuron.

PLC disponuje potřebnou konektivitou, ale implementace protokolu HomeKit je kvůli absenci komunikačních protokolů nemožná.

Nabízí se tedy možnost využít obou kontrolérů dohromady. Propojení lze zajistit pomocí protokolu Modbus TCP. PLC zajistí stabilitu kritických částí systému, jako je nepřetržité ovládání žaluzií a Raspberry Pi umožní implementaci protokolu HomeKit. Z Tabulky 10 vyplývá, že toto řešení je dražší nicméně má potenciál být stabilnější.

	Položka (kód výrobce)	Popis	Cena [Kč]
Raspberry Pi + Siemens PLC	Raspberry Pi 3 Model B+	Raspberry Pi	999,00 ^[68]
	ITALTRONIC 25.0410000.RP3	Krabička pro umístění na nosnou lištu	239,00 ^[69]
	Siemens 6ES7212-1BE40-0XB0	Siemens PLC	6 997,66 ^[70]
	Siemens 6ES7241-1CH30-1XB0	Komunikační modul CB1241 pro RS 485	2 316,86 ^[71]
	Raspberry Pi PoE HAT	POE pro Raspberry Pi	539,00 ^[72]
			11 091,52
UniPi Neuron	UniPi Neuron M103	UniPi Neuron	8 599,00 ^[73]
	Zdroj 24 V DIN		589,00 ^[73]
			9 188,00

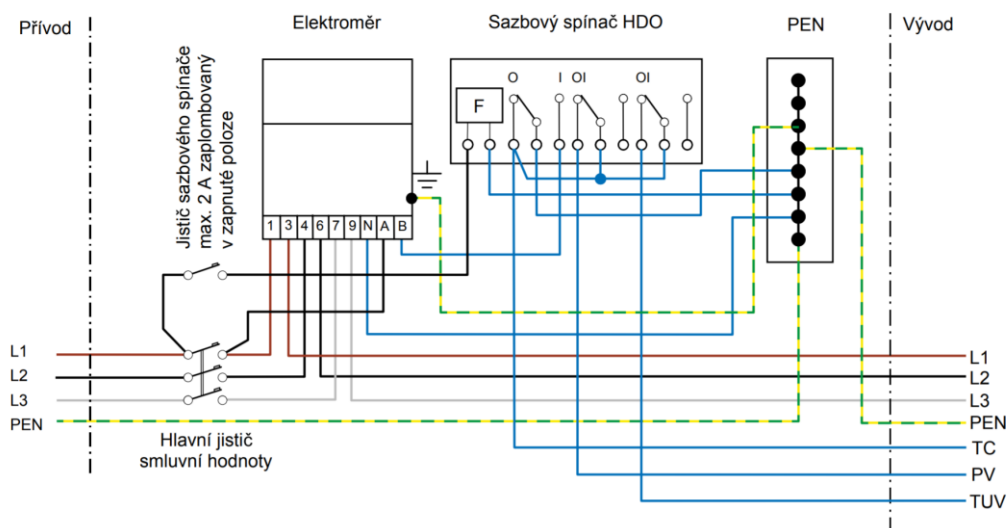
Tabulka 10 Ceny kontrolérů se zdroji napájení a komunikačními moduly

3.2.4 HDO

Je způsob regulace spotřeby v elektrické rozvodné síti, který se používá v České republice [41]. K přenosu signálu se využívá běžných vodičů rozvodné soustavy, na které je superponován signál o frekvencích řádově stovek Hz. Povelý jsou vysílány z rozvodu do distribuční soustavy. Frekvence povelů je blízká frekvenci síťového napětí, signál tak projde i přes transformátory a další prvky rozvodné sítě.

V místě odběru pak bývá umístěn přijímač HDO, který může komunikovat s elektroměrem a předávat informaci o aktuálním tarifu. Tarify bývají běžně 2 – VT (vysoký tarif) a NT (nízký tarif).

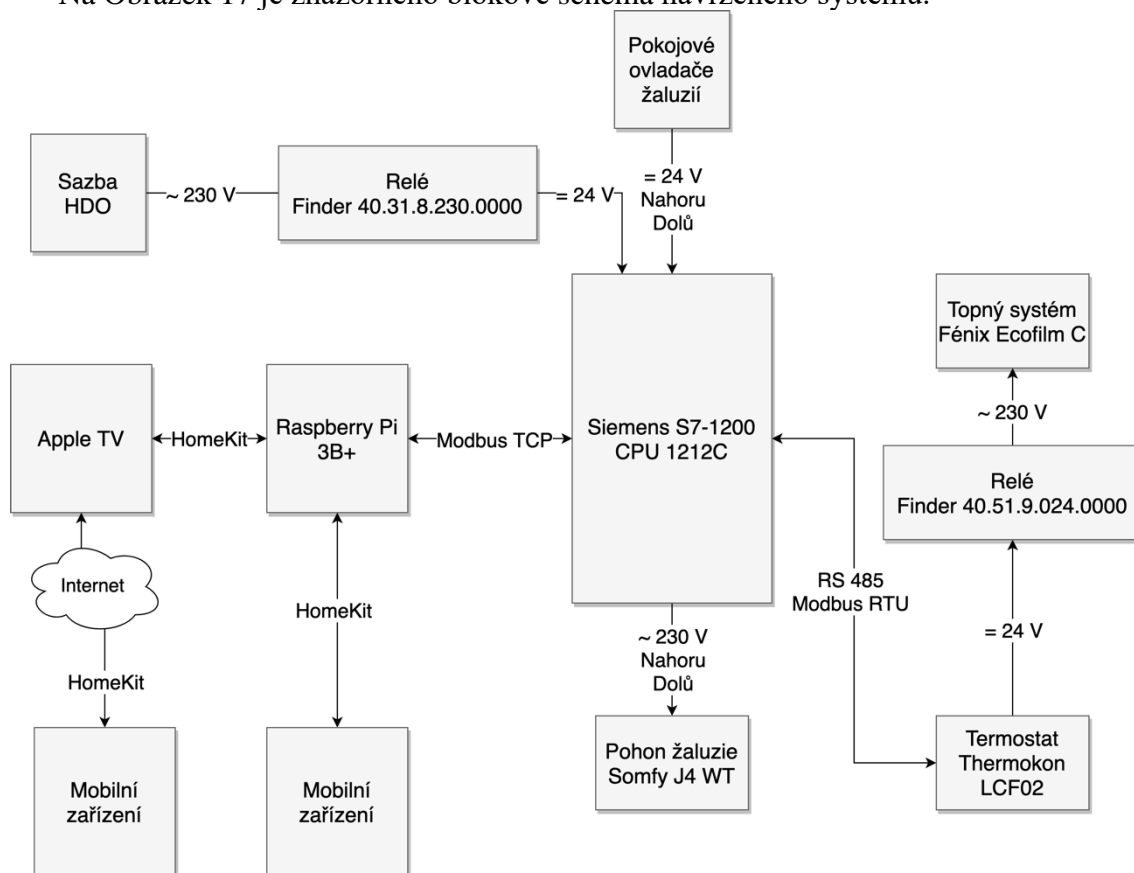
Distributor elektrické energie může nabídnout odběrateli nižší sazbu za dodaný proud v době platnosti nízkého tarifu. Zapojení přijímače HDO společně s elektroměrem lze vyčíst ze stránek distributora. Ze schématu na Obrázek 16 je vidět zapojení elektroměrové skříně před referenční nemovitostí s přijímačem HDO. Je vidět, že povelý z přijímače HDO, které jsou označeny na Obrázek 16 jako TC (stykač přímotopného vytápění tepelného čerpadla), TUV (stykač ohřevu teplé užitkové vody) a PV (stykač přímotopného vytápění) jsou pomocí relé v případě aktivního povelu sepnuty na svorkovnici PEN.



Obrázek 16 Schéma zapojení měření s třífázovým dvousazbovým elektroměrem a třípovelovým přijímačem HDO, převzato z [43]

3.3 Blokové schéma a zapojení

Na Obrázek 17 je znázorněno blokové schéma navrženého systému.



Obrázek 17 Blokové schéma navrženého systému

Pro napájení termostatů a relé je nutné vypočítat, zda bude k jejich napájení postačovat zdroj =24 V PLC, který je možné zatížit maximálně proudem 300 mA. Dále je třeba zkontrolovat, že =5 V zdroj PLC, který napájí rozšiřující moduly PLC nebude zatížen moduly proudem, vyšším než 1000 mA [38].

Rozšiřující modul CB 1241 má nominální proud 50 mA ze zdroje =5 V, žádný další rozšiřující modul nebude připojen. Zdroj =5 V nebude přetížen.

Spotřebiče připojené na zdroj =24 V a jejich jmenovité proudy uvádí Tabulka 11. Některé spotřebiče uvádějí v dokumentaci pouze typický příkon, příkon je přepočten na proud podle vzorce, příklad výpočtu je uveden pro Relé Finder 40.51.9.024.0000.

$$I = \frac{P}{U}$$

$$0,027 \text{ A} = \frac{0,65 \text{ W}}{24 \text{ V}}$$

	Počet	Jmenovitý proud 1 spotřebičem při =24 V [mA]	Celkový proud [mA]
Relé Finder 40.51.9.024.0000	3	27 [40]	81
Stykač OEZ RSI-20-11-X024	2	71 [39]	142
Digitální vstupy	6	4 [38]	24
Termostat Thermokon LCF02	4	125 [16]	500
CB 1241	1	80 [38]	80
Celkem			827

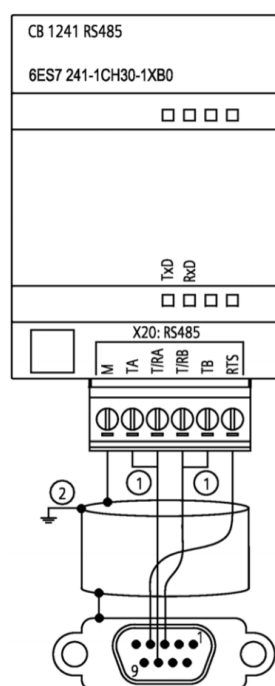
Tabulka 11 Proudů spotřebičů při = 24 V

Celkový proud spotřebičů bude tedy 747 mA, což nevyhoví maximálnímu zatížení zdroje PLC. V rozvaděči tedy je nutné doplnit další zdroj =24 V. Dokumentace PLC dovoluje spojit s dalším zdrojem země, ale zdroj není možné zapojit paralelně se zdrojem PLC.

Relé PLC jsou schopna spínat indukční zátěž o výkonu 200 W do napětí ~250 V při střídavém napětí [38]. Příkon pohonu Somfy J406 WT je 95 W, nominální napětí ~230 V, relé PLC tedy budou schopna tuto zátěž spínat. V [38] se doporučuje využít pro indukční zátěže kompenzace pro zvýšení životnosti spínacího prvku. Kompenzace je provedena paralelně připojeným kondenzátorem a rezistorem, nicméně v [9] se použití jakékoliv kompenzace zakazuje. Příkon 95 W odpovídá při napětí ~230 V protékajícímu proudu menšímu než 0,5 A, pro proud 0,5 A se v [38] uvádí životnost 1,5 milionu cyklů. S nižším proudem životnost spínacího prvku vzrůstá. Při odhadu počtu sepnutí relé za jeden den na 5 je elektrická životnost relé v PLC dostatečná.

Výrobce termostatu neuvádí elektrickou životnost relé, pouze deklaruje maximální spínaný proud pro ~250 V na 3 A, to odpovídá maximálnímu spínanému výkonu 690 W při ~230 V. V Tabulka 2 jsou uvedeny instalované výkony jednotlivých topných zón a žádná nemá příkon nižší než 690 W. Z toho vyplývá, že nelze žádný z topných okruhů spínat přímo. Pro spínání topení bude použito v rozvaděči relé Finder 40.51.9.024.0000 s patičí Finder 95.05. Jedná se o jazýčkové relé s cívkou =24 V, které se s pomocí patice lze instalovat do rozvaděče na nosnou lištu. Toto zajistí, že se v instalační krabici s termostatem nebudou vodiče s různými napěťovými úrovněmi =24 V a ~230 V.

Pro provedení sběrnice RS-485 pro spojení PLC s termostaty bude použit kabel JY(St)Y se dvěma vodiči a průměrem vodiče 0,8 mm jak se doporučuje v [44]. Délka sběrnice RS-485 nepřesáhne 100 m. Spojení sběrnice bude realizováno přímo na svorkách v termostatu. Sběrnice bude realizována liniově. Počátek sběrnice je v komunikačním modulu CB1241 vloženém do PLC, podle doporučení v [38] bude začátek sběrnice napojen na pull-up a pull-down rezistor, které jsou na svorkách TA a TB. Zapojení počátku sběrnice bude realizováno podle Obrázek 18, ale svorka RTS zůstane neosazena. Stínění kabelu JY(St)Y bude připojeno na svorku M modulu CB1241 a v každém termostatu na svorku GND. Na posledním termostatu v liniové struktuře bude sběrnice ukončena rezistorem 120 Ω , který bude umístěn mezi svorky A a B jak je doporučeno v [45].



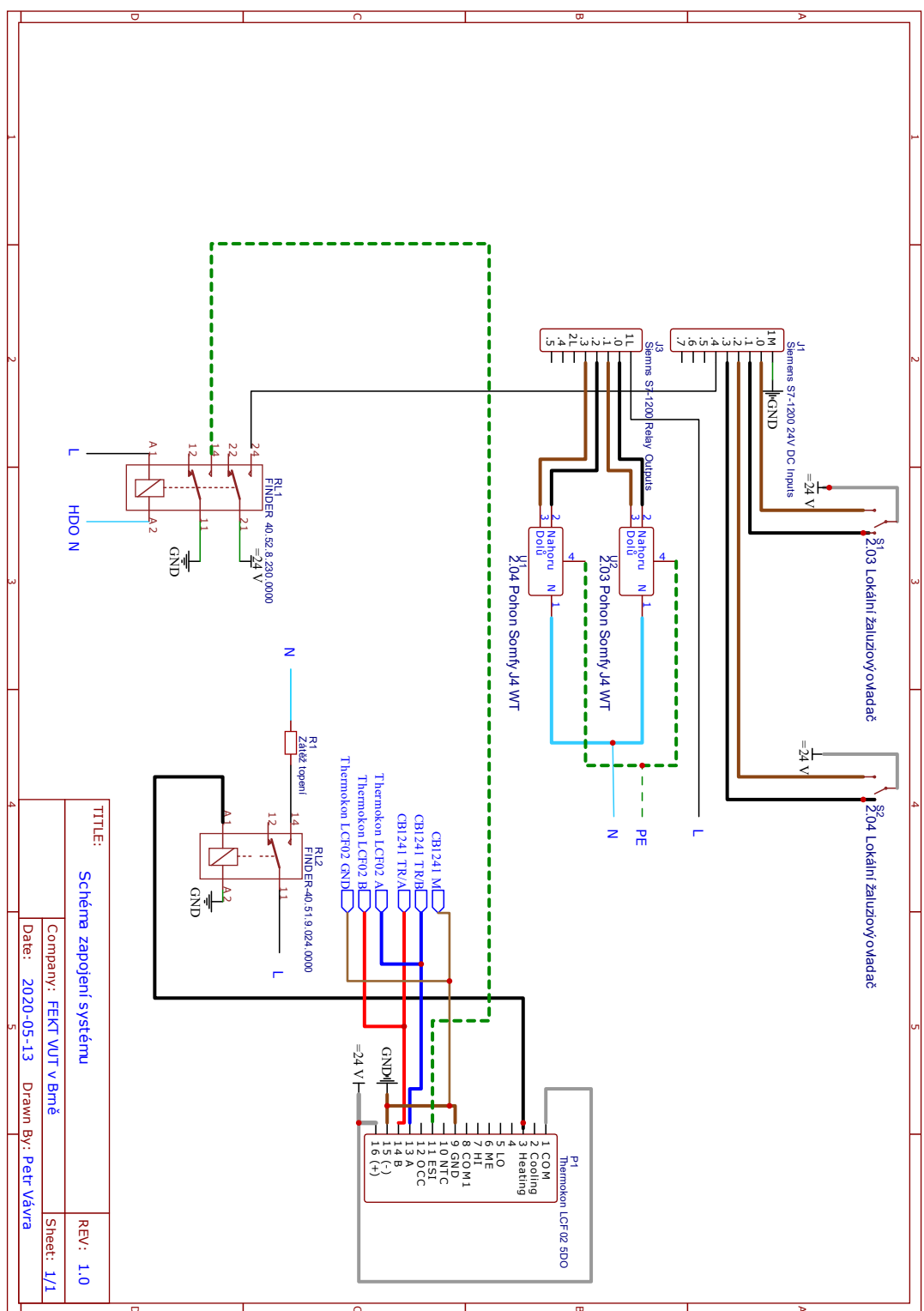
Obrázek 18 Doporučené připojení začátku sběrnice RS-485 pro modul CB1241, převzato z [38]

Při realizaci sběrnice se ukázalo, že výrobci nedodržují jednotu mezi označením A a B na sběrnici RS-485. Svorka, která je v modulu CB1241 označena T/RA funkcí nesouhlasí se svorkou A na termostatu. Funkční zapojení je spojení svorek T/RA se svorkami B termostatů a svorek TR/B se svorkami A termostatů. Svorka modulu CB1241 T/RB má kladný potenciál a lze označit RxTx+ a svorka T/RA má záporný potenciál a lze označit RxTx-.

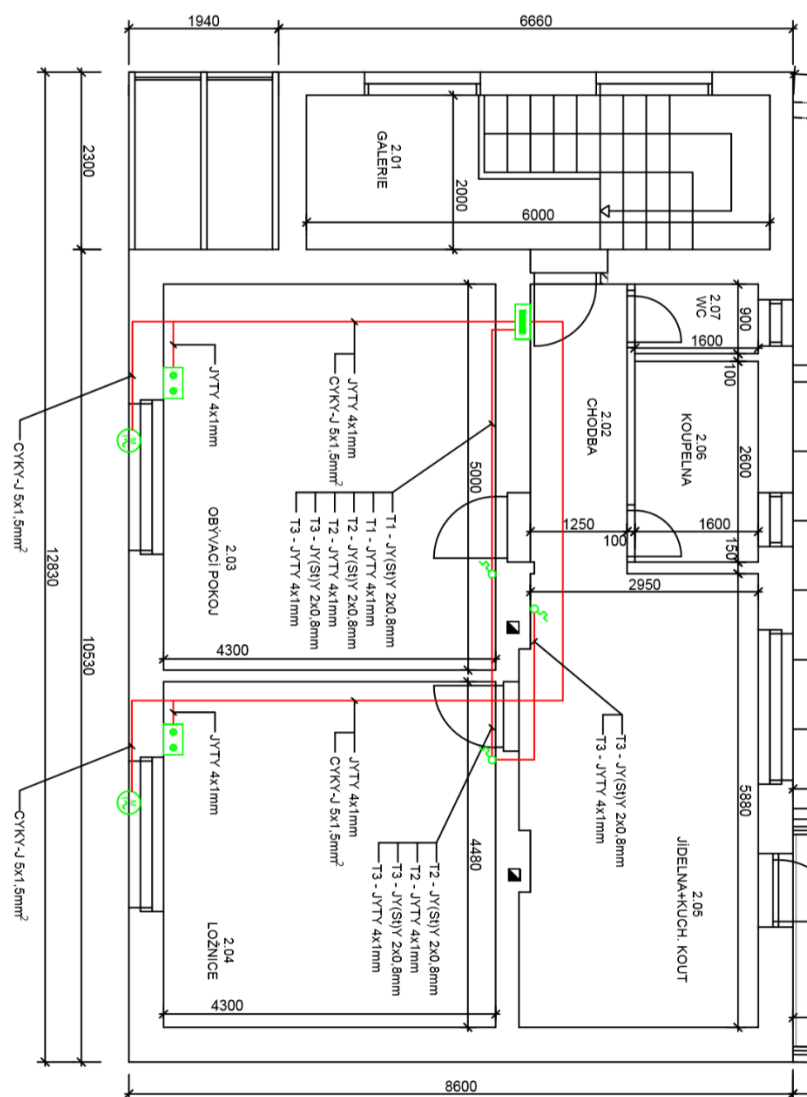
Pro napájení termostatu a spínání vytápění bude využit kabel JYTY se 4 žilami a průměrem žíly 1 mm. Zelenožlutý vodič kabelu je využit na přivedení potenciálu GND v době povelu pro sepnutí vytápění z HDO na svorku ESI, která po konfiguraci zajistí spínání topení pouze v době tohoto pokynu. Pro připojení lokálních žaluziových vypínačů bude také použit kabel JYTY se 4 žilami a průměrem žíly 1 mm, zelenožlutý vodič zůstane neosazen. Pro připojení žaluzií byl použit kabel CYKY-J s 5 žilami průřezem 1,5 mm², zapojení odpovídá Obrázek 9.





Na Obrázek 19 je zakresleno zapojení systému. Pro přehlednost je uveden jen první ze tří termostatů v liniově strukturované sběrnici, zapojení ostatních termostatů je

obdobné včetně instalačního relé. Pokračování sběrnice RS-485 je naznačeno svorkami s označením Thermokon LCF02. Barevné označení vodičů souhlasí s barevným označením vodičů ve skutečnosti. Vodiče na schématu provedené tenkou čarou budou v rozvaděči. Vodiče provedené tlustou čarou vedou mimo rozvaděč. Vedení elektroinstalačních vodičů je naznačeno na Obrázek 20.



Obrázek 19 Schéma zapojení systému



- LEGENDA PRVKŮ:**
-  TERMOSTAT THERMOKON LCF02
 -  TLAČÍTKOVÝ OVLADAČ SE DVĚMA TLAČÍTKY
 -  POHON SOMFY J4 WT
 -  SKŘÍŇ ROZVADĚČE

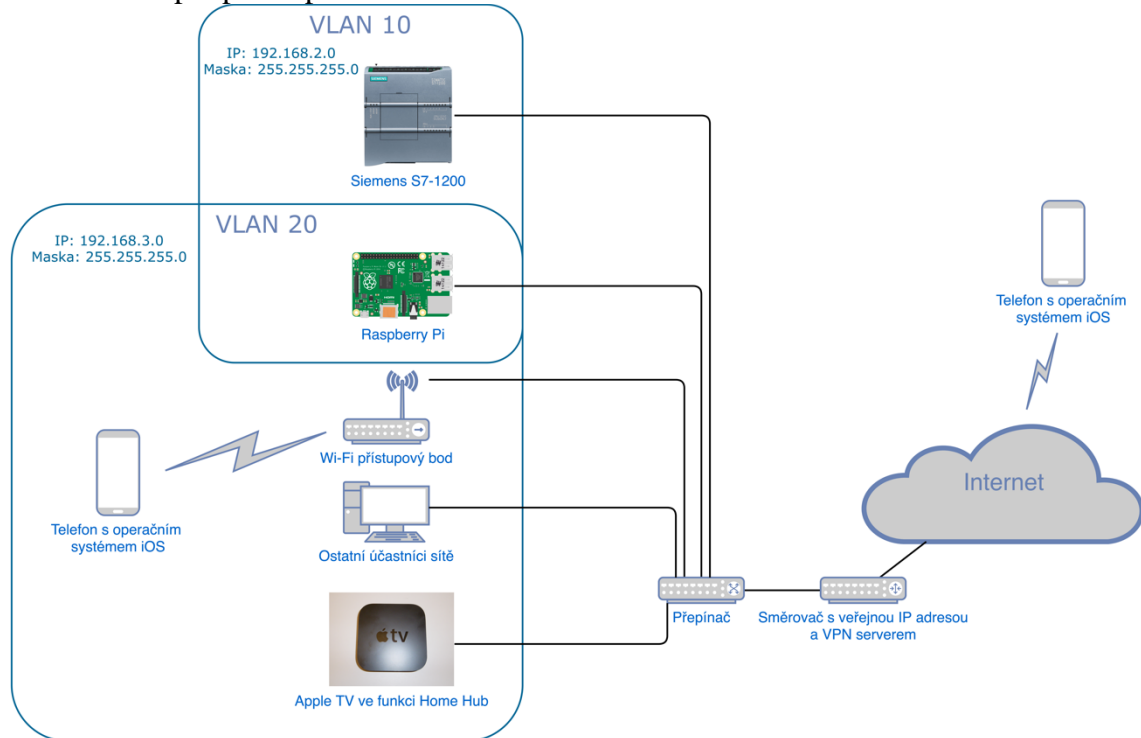
Obrázek 20 Rozvod elektroinstalace systému, doplněno o instalace [66]

3.4 Software

V této části bude popsán software navržený pro PLC, Raspberry Pi a konfigurace síťových prvků.

3.4.1 Konfigurace sítě

Pro zajištění síťového zabezpečení PLC, na kterém je spuštěn webový server se v [38] doporučuje zřídit k přístupu z vnější sítě VPN. K zajištění bezpečnosti a omezení přístupu na vnitřní síť jsou konfigurovány sítě VLAN. Do sítě VLAN10 je umístěno pouze PLC. Raspberry Pi je v síti VLAN 20, ale firewall je konfigurován tak, aby Raspberry Pi mohlo komunikovat s PLC. Ostatní zařízení ze sítě VLAN20 nemají do sítě VLAN10 přístup. Obě zařízení mají přidělenou statickou IP adresu. Pro diagnostiku v síti VLAN10 je v domě zřízena ethernetová zásuvka s přístupem do této sítě. Dále je v routeru zřízena VPN, která využívá protokol L2TP s přístupem do obou VLAN. Raspberry Pi je umístěno do sítě VLAN20, aby mohlo komunikovat s Home Hub Apple TV, u které je žádoucí, aby k ní ostatní uživatelé sítě měli přístup, protože zajišťuje komunikaci s mobilními zařízeními s podporou protokolu HomeKit.



Obrázek 21 Schéma sítě, ikony převzaty z [47], [48], [38]

Dále se v [38] doporučuje přistupovat k webovému serveru v PLC pouze přes HTTPS. Tato možnost je na PLC konfigurována. Obdobně lze přistoupit ke konfiguraci webového serveru, který běží na Raspberry Pi a umožňuje provoz prostředí Node-Red. Vzhledem k tomu, že PLC i Raspberry Pi standardně nemají certifikát podepsaný certifikační autoritou, byla vytvořena nová certifikační autorita, jejíž certifikát je instalován do zařízení, která přistupují k těmto webovým serverům. Tím je zajištěno, že spojení je šifrováno, a že webové prohlížeče jako Google Chrome na zařízeních s instalovaným certifikátem nezobrazují varování před nezabezpečenou webovou stránkou.

3.4.2 PLC

Konfigurace PLC a programování se provádí v prostředí Siemens TIA Portal, konkrétně byla použita verze 15 Update 4. Postupy pro konfiguraci, oživení PLC jsou popsány v [38]. Na PLC je instalován firmware verze 4.4.

3.4.2.1 Komunikace s Raspberry Pi

Komunikace s Raspberry Pi probíhá pomocí protokolu Modbus TCP. Konfigurace a postup je popsána v [54]. Komunikaci obsluhuje blok MB_SERVER, který je umístěn v OB1 Main. PLC umožňuje přístup pouze jednomu zařízení z jedné pevně definované IP adresy. PLC zpřístupňuje tabulku, ve které jsou data zpřístupněna data pro zařízení HomeKit. Raspberry Pi v pravidelných intervalech vkládá data o aktuálním počasí.

3.4.2.2 Termostaty

Pro komunikaci s termostaty se využívá Modbus RTU. Konfigurace protokolu Modbus RTU je provedena podle doporučení a postupu v [49]. PLC je konfigurováno jako Master, neboli role klient pro komunikaci protokolem Modbus. Blok Modbus Master, který je součástí dodané programové výbavy TIA Portal, je umístěn v bloku Main OB1. Komunikace po RS-485 probíhá rychlostí 9600 baud, bez paritního bitu a s jedním stopbitem. Adresace termostatů je uvedena v Tabulka 12. Software počítá s lineární adresací termostatů od 1 po jejich počet. Adresu a parametry komunikace Modbus lze změnit přímo na termostatu po zadání 3místního předvoleného kódu [16].

Termostat, umístění termostatu	Modbus adresa
T1, 2.03	1
T2, 2.04	2
T3, 2.05 a 2.02	3

Tabulka 12 Adresace termostatů

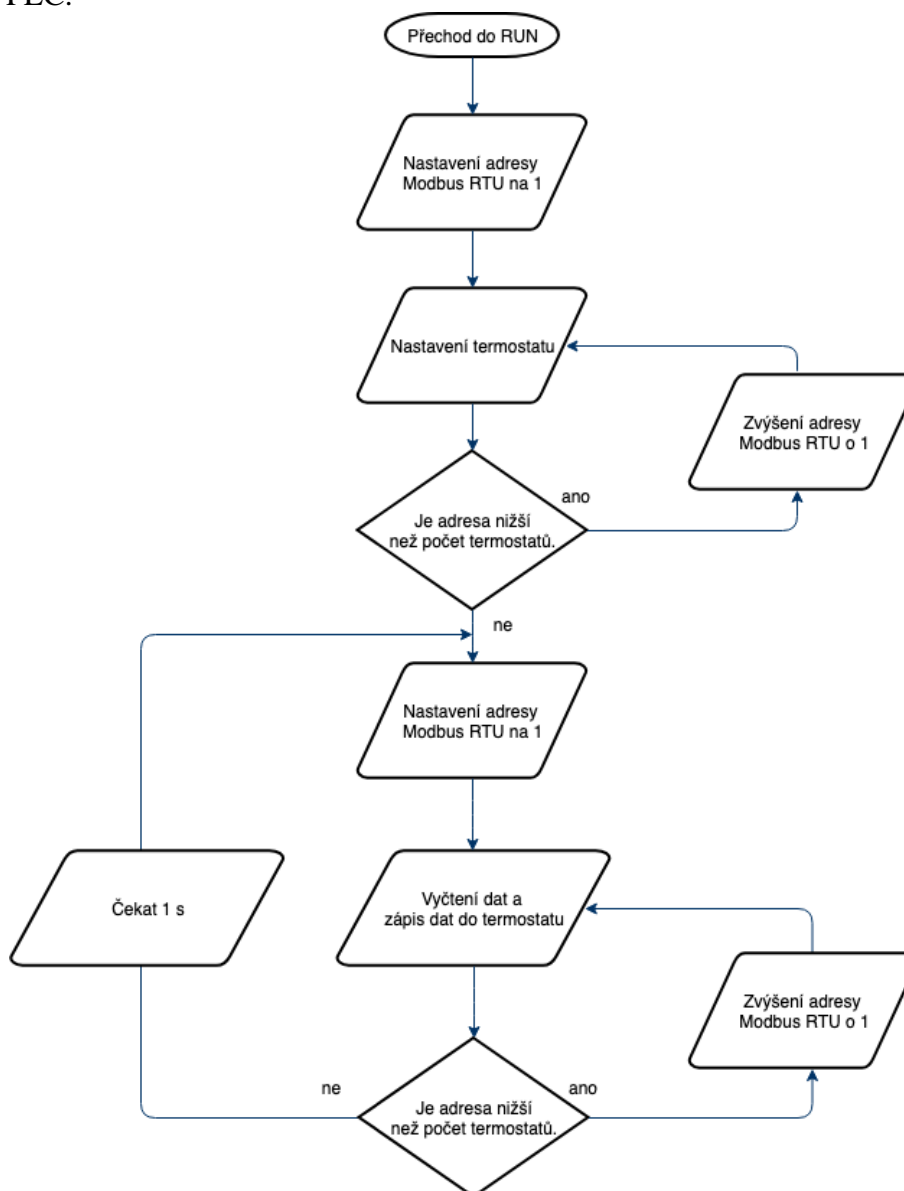
Úvodní konfigurace termostatů, která se realizuje při každém přechodu PLC z režimu Stop do Run. Konfigurace nastavuje postupně Holding Registers termostatů tak, aby byly schopny řídit vytápěcí systém. Tato konfigurace proběhne úspěšně, pokud jsou termostaty v továrním nastavení, případně již prošly touto konfigurací. Vzhledem k tomu, že jsou termostaty instalovány na stěně, nelze předpokládat zásah do konfigurace pomocí Modbus RTU z vnější, tudíž by toto nastavení mělo být dostatečné. Po provedení úvodního nastavení PLC vyčítá a zapisuje pokyny obdržené z HomeKit. Celý proces zachycuje Obrázek 22.

Při nastavení termostatu se provedou následující konfigurace:

Adresa	Nastavená hodnota	Popis
264	1	Jazykem termostatu je angličtina.
278	1	Ovládá se 4 ventilový fan-coil. Toto nastavení zajistí, že výstupy chlazení a topení budou spínány samostatně.
514	1	Režim vytápění, výběr režimů je popsán v kapitole 3.2.2.1.
279	0	Vypnout výstupy větrání, deaktivovat tlačítko větrání.
268	1	Po výpadku napájení se vrát do stavu před výpadkem.
336	5	Pokud není sepnut signál ETI, vypni vytápění.

Tabulka 13 Registry ovlivněné nastavením termostatu

Při vyčtení a zápisu dat se vyčítají registry, které jsou uvedené v Tabulka 7. Pro aktuální režim a požadovanou teplotu je vždy porovnávána aktuální hodnota z Raspberry Pi, předešlá hodnota uložená v PLC a hodnota z termostatu. Pokud jsou hodnoty stejné, pak neproběhne zápis. Pokud je jedna z hodnoty rozdílná od předešlé hodnoty uložené v PLC, pak se přepíše tato hodnota do svého protějšku a do předešlé hodnoty. Pokud jsou rozdílné obě hodnoty od předešlé hodnoty uložené v PLC, pak se jako správná hodnota vezme hodnota z termostatu a ta se také přepíše do předešlé hodnoty uložené v PLC.



Obrázek 22 Postup obsluhy termostatů

3.4.2.3 Žaluzie

Žaluzie jsou ovládány přes FB BlindsCommands, který zajišťuje, aby byla splněna základní pravidla, pro ovládání pohonu, která jsou definována v [13] a zmíněna v kapitole 3.2.1.3. Tato pravidla tento blok naplňuje, navíc zajišťuje komfortní ovládání lokálním ovladačem, kdy po podržení tlačítka pro pojezd v jednom směru delším než 2 s, je výstup

prodloužen do doby, než pojezd dojde do koncové pozice. Výstup lze kdykoliv přerušit stisknutím tlačítka opačného směru, které bude po dobu 500 ms ignorováno. Blok také měří dobu pohybu v každém směru a ze znalosti celkové doby posunu žaluzie mezi krajními polohami určuje aktuální pozici žaluzie. Doba pohybu mezi krajními polohami je 47 s. Software neumožní výstup mimo rozsah 0 – 100, jak je definováno protokolem HomeKit. Kalibraci aktuální polohy je možné provést pojezdem do krajní pozice a dalším požadavkem na pojezd v totéž směru. Pohon kvůli dorazu bude tento požadavek ignorovat, nicméně v PLC se pozice bude stále čítat. Po dopočtení stavu kterékoliv krajní pozice v PLC jsou čítače doby pohybu resetovány a nastaveny na danou krajní polohu. Blok určuje také přibližnou pozici náklonu lamely. Tato pozice je určena ze znalosti celkové doby náklonu lamely o 90 °, která je 2,5 s. Výstup vypočtené pozice je tříbodový, indikuje maximální náklon lamely, minimální náklon lamely a pozici mezi. Blok v případě vstupu indikující silný vítr zajistí posun žaluzií do krajní horní pozice.

Ochrana proti větru se spustí v případě větru o rychlosti vyšší než 13 ms⁻¹, je tedy zvolena bezpečnostní rezerva, žaluzie by měly být podle dokumentace výrobce schopny odolat většímu větru. Prioritu ovládání žaluzií řeší blok FC BlindsControl, priority příkazů jsou seřazeny od nejvyšší po nejnižší následovně:

- ochrana proti větru,
- lokální ovladač,
- povely z HomeKit,
- automatické řízení.

Automatické ovládání žaluzií je postaveno na základě algoritmu popsaného v kapitole 2.1. Automatické ovládání je řešeno individuálně pro každou místnost, kde jsou instalovány žaluzie a termostat, tedy místnosti 2.03 a 2.04. Data o vnitřní teplotě se získávají z termostatu, poloha slunce je získána pomocí knihovny Library of general functions ve verzi 5.0. Knihovna není součástí základní výbavy TIA Portal a je nutné ji doinstalovat [74].

Přechod do automatického ovládání je po vypršení platnosti posledního povelu z HomeKit nebo lokálního ovladače. Platnost povelu je nastavena na 2 h. V případě, že není platný žádný povel, ani není aktivní ochrana proti větru, pak se přejde na automatické ovládání.

3.4.3 Raspberry Pi

Raspberry Pi se standardně dodává bez paměťové karty, která slouží jako jeho diskový prostor. Pro instalaci se v [51] doporučuje využít kartu micro SD Class 6, tento typ karty je instalován v použitém Raspberry Pi. Na SD kartu byl před prvním spuštěním nahrán operační systém Raspbian ve verzi Buster, release 2020-02-13. V rámci konfigurace byl povolen vzdálený přístup přes SSH, kvůli úspoře energie byly trvale vypnuty HDMI výstup, Wi-fi a Bluetooth. Toto nastavení je platné i po restartu.

Jako programovací prostředí byl zvolen Node-Red, který byl instalován postupem uvedeným v [52], z tohoto postupu byly také použity příkazy pro spuštění prostředí jako služby po startu operačního systému. Instalovaná verze je 1.0.3, pro běh Node-Red je instalačním skriptem instalováno prostředí NodeJS, použitá verze je 12.16.3. Programování probíhá pomocí webového rozhraní dostupného na portu 1880. Rozhraní je zabezpečeno pomocí statického přístupového jména a hesla, konfigurace je provedena podle [53]. Pro přístup k webovému rozhraní je používán pouze protokol HTTPS.

Do prostředí Node-Red lze postupem uvedeným v [78] instalovat knihovny. Pro využití komunikace s PLC je doinstalována knihovna node-red-contrib-modbus ve verzi 5.12.0. Pro komunikaci pomocí protokolu HomeKit byla doinstalována knihovna node-red-contrib-homekit-bridged ve verzi 1.0.4.

Všechna zařízení jsou do protokolu HomeKit přenesena pomocí režimu Bridge. Pro každé zařízení (Accessory) má být vždy přidělen právě jeden Service. Pro všechny termostaty je konfigurace Characteristics obdobná, pro každý termostat je individuálně nastaven název. Konfigurace Characteristics je uveden v Tabulka 14, význam jednotlivých polí je uveden v Tabulka 6. Je uvedeno nastavení, které se liší od výchozího nastavení pro tento Service.

Vlastnost	Nastavení
<i>Current Heating Cooling State</i>	Dostupné stavy 0 – 2
<i>Target Heating Cooling State</i>	Dostupné stavy 0 – 3
<i>Current Temperature</i>	rozsah 0 – 50
<i>Target Temperature</i>	rozsah 16 – 30
<i>Temperature Display Units</i>	Statically konfigurováno na 0
Cooling Threshold Temperature	Neaktivní
Current Relative Humidity	Neaktivní
Heating Threshold Temperature	Neaktivní
Name	Individuální název zařízení
Target Relative Humidity	Neaktivní

Tabulka 14 Konfigurace Characteristics Service Thermostat

Pro obě venkovní žaluzie je využit Service WindowCovering, konfigurace je opět uvedena v Tabulka 15.

Vlastnost	Nastavení
<i>Target Position</i>	Rozsah 0 – 100, krok 1
<i>Current Position</i>	Rozsah 0 – 100, krok 1
<i>Position State</i>	Neaktivní, odvozeno automaticky
Name	Název zařízení
Hold Position	Neaktivní
Current Horizontal Tilt Angle	Rozsah -90 – 90, krok 1
<i>Target Horizontal Tilt Angle</i>	Neaktivní
Current Vertical Tilt Angle	Neaktivní
<i>Target Vertical Tilt Angle</i>	Neaktivní
Obstruction Detected	Neaktivní

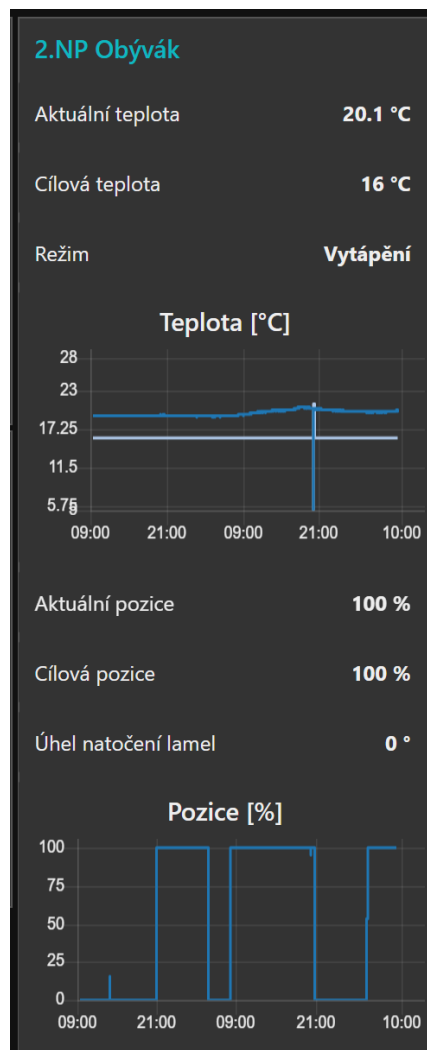
Tabulka 15 Konfigurace Characteristics Service WindowCovering

Program vyčítá každých 500 ms data z PLC pomocí protokolu Modbus TCP, následně data předává do bloků HomeKit. Po přijetí pokynu z protokolu HomeKit přepíše pokyn okamžitě do Modbus TCP.

Dalším instalovaným rozšířením je node-red-node-openweathermap verze 1.0.0, které je konfigurované tak, že jednou za 10 minut vyčte data o aktuálním počasí z internetové služby OpenWeather a předá je PLC pomocí Modbus TCP. Pro zprovoznění bylo nutné na stránce služby zřídit uživatelský účet a získat přístupový klíč k API.

Pro monitorování vývoje veličin bylo instalováno rozšíření node-red-dashboard. Toto rozšíření umožňuje vytvářet grafy a zobrazovat stav veličin pomocí webového rozhraní. Pro každý termostat je vytvořen graf, který zobrazuje vývoj žádané teploty a aktuální teploty. Dále je zobrazen aktuální režim termostatu. Pro žaluzie jsou vytvořeny grafy vývoje polohy, význam hodnoty odpovídá charakteristice protokolu HomeKit. Grafy zobrazují historii v délce dvou dnů. Webové rozhraní je zabezpečeno staticky konfigurovaným přihlašovacím jménem a heslem.

Na Obrázek 23 jsou vidět zmíněné grafy a stavové údaje pro jednu místnost. V grafu vývoje teploty je vidět okolo 21. hodiny druhého dne způsob znázornění výpadku napájení PLC a termostatu. Aktuální teplota i žádaná teplota v tuto jsou na hodnotě 0 °C. Po obnovení dodávky elektrické energie dojde automaticky k obnovení režimu vytápění a žádaná teplota je nastavena na výchozí hodnotu 21 °C. Žádaná teplota byla následně ručně upravena na 16 °C. V grafu vývoje pozice žaluzie jsou vidět během dne mezi 9. a 21. hodinou 2 ruční zásahy. Termostat v místnosti byl v průběhu prvního dne v režimu chlazení, proto automaticky po západu slunce nastane změna polohy do zcela otevřené a po východu do zcela zavřené. Okolo 9. hodiny druhého dne je termostat přepnut do režimu vytápění, tím se změní žádaná pozice žaluzie, která vychází z Obrázek 1 do pozice zcela otevřené a dále s automatikou pro vytápění. Výpadek napájení PLC je v tomto grafu ignorován, protože žaluzie se během výpadku nemohou pohybovat.



Obrázek 23 Výstřih z obrazovky z webu pro monitorování

3.4.4 Aplikace Domácnost

V aplikaci Domácnost na mobilním zařízení s operačním systémem iOS verze 13.5 bylo párováno zařízení typu Bridge, které zastřešuje všechna ovládaná zařízení. Párovací klíč byl staticky konfigurován v prostředí Node-Red. Dále bylo nastaveno sdílení těchto zařízení ostatním členům domácnosti pomocí služby iCloud. Ovládací prostředí v aplikaci je zachyceno na Obrázek 24.



Obrázek 24 Ovládací prostředí aplikace Domácnost

ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl navržen systém pro ovládání elektrického vytápění a venkovních okenních žaluzií. Při návrhu systému byl kladen důraz na předpokládanou výdrž hardware instalovaného v domě a možnost zachování lokálního ovládání v každé situaci. Jako centrální řídicí člen bylo vybráno průmyslové PLC, které má dlouhé produktové cykly. PLC zajišťuje stálé lokální ovládání a přijímá povely Raspberry Pi protokolem Modbus TCP. Raspberry Pi komunikuje se zařízeními protokolem HomeKit a hostuje web, na kterém je možné sledovat časový vývoj teploty v místnostech, polohy žaluzií a aktuální stav. Raspberry Pi předává povely z protokolu HomeKit PLC.

Pro lokální ovládání vytápění byly vybrány termostaty, které jsou schopné komunikovat pomocí protokolu Modbus RTU po sběrnici RS-485 s PLC. Termostaty umožňují uživateli jednoduše zvolit požadovanou teplotu a režim vytápění. Pro lokální ovládání venkovních žaluzií byly použity běžné nástěnné ovladače pro žaluzie.

Pro dálkové ovládání byla vybrána zařízení podporující protokol HomeKit. Jedná se o chytré telefony, počítače a další zařízení výrobce Apple. Pomocí aplikace Domácnost, kterou dodává a spravuje přímo společnost Apple je možné zařízení v domě ovládat. Uživatelské prostředí aplikace je pohodlné a intuitivní. Komunikace pomocí protokolu HomeKit je svázána s hlasovým asistentem Siri. Pomocí Siri lze také zařízení v domě ovládat.

Výhodou pro vývoj bylo, že specifikace protokolu HomeKit určila, které hodnoty jsou podstatné pro pohodlné ovládání žaluzií a vytápění. Specifikaci protokolu byl uzpůsoben výběr termostatu a návrh ovládání žaluzií.

Životnost elektroniky dnes často nesouvisí pouze s výdrží hardware výrobku, ale také životností služeb jako jsou mobilní aplikace, externích služeb a aktualizací software, které poskytuje výrobce až po zakoupení výrobku. Navržené dálkové ovládání je závislé na poskytování služby iCloud od společnosti Apple. Výpadek neznemožní plnohodnotné lokální ovládání celého systému. Závislost dálkového ovládání na protokolu HomeKit, a tím pádem na službě iCloud, lze odstranit implementací jiného způsobu dálkového ovládání. Nejjednodušší možnost je pravděpodobně zvolit ovládání přes webovou stránku.

Dalším zajímavým způsobem realizace dálkového ovládání bude pravděpodobně nový protokol iniciativy Connected Home over IP, který by měl zajistit kompatibilitu ovládání s mobilními zařízeními jiných výrobců. Tento protokol by měl být publikován na konci roku 2020.

Systém byl instalován na referenčním objektu a byl testován po dobu jednoho měsíce. Během testování byl funkční a stabilní.

Literatura

- [1] *Spotřeba paliv a energií v domácnostech*. Praha: Český statistický úřad, 2017. Průmysl, energetika. ISBN 978-80-250-2751-6.
- [2] SOMFY. Climax. *Somfy* [online]. Somfy, c2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.somfy.cz/o-somfy/powered-by-somfy/climax>
- [3] Isotra. Elektropříslušenství: Venkovní žaluzie. *Isotra a.s.* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.isotra.cz/pohony-venkovni-zaluzie>
- [4] ŽALUZIE NEVA. Venkovní žaluzie. *ŽALUZIE NEVA s.r.o.* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.neva.eu/zaluzie/venkovni-zaluzie/>
- [5] SOMFY. Spotřebitelský ceník Somfy 2020. *Somfy, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://service.somfy.com/downloads/cz_v5/kompletni-koncovy-cenik-2020-1-czk.pdf
- [6] Somfy Smoove Origin RTS Protocol. *PushStack* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://pushstack.wordpress.com/somfy-rt-protocol/>
- [7] Apple. *HomeKit Accessory Protocol Specification: Non-Commercial Version* [online]. Release R2. Apple, 2019, 259 s. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://developer.apple.com/homekit/>
- [8] GITHUB. Nickduino / Pi-Somfy. *Github* [online]. San Francisco, c2020 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://github.com/Nickduino/Pi-Somfy>
- [9] SOMFY. Žaluziový pohon J4 RTS: Návod k montáži a použití. *Somfy Návod* [online]. Somfy, 2018 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.somfynavody.cz/?dir=St%C3%ADnic%C3%AD+technika%7CPohony%7CVenkovn%C3%AD+%C5%BEaluzie%7CJ4>
- [10] SOMFY. Žaluziový pohon J4 io: Návod k montáži a použití. *Somfy Návod* [online]. Somfy, 2015 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.somfynavody.cz/?dir=St%C3%ADnic%C3%AD+technika%7CPohony%7CVenkovn%C3%AD+%C5%BEaluzie%7CJ4>
- [11] FAQs. *Io homecontrol* [online]. [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <http://www.io-homecontrol.com/index.php/en/useful-information/faqs>
- [12] SOMFY. Blinds (interior and exterior). *So Open with Somfy* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://developer.somfy.com/products/blinds-interior-and-exterior>
- [13] SOMFY. Žaluziový pohon J4 WT: Úplný návod k použití. *Somfy Návod* [online]. Somfy, 2017 [cit. 2020-03-31]. Dostupné z: <https://www.somfynavody.cz/?dir=St%C3%ADnic%C3%AD+technika%7CPohony%7CVenkovn%C3%AD+%C5%BEaluzie%7CJ4>
- [14] NEVA ŽALUZIE. *Odolnost proti větru*. Kralice na Hané, 2020. Dostupné také z: <https://www.neva.eu/app/uploads/neva-odolnost-proti-vetru.pdf>
- [15] THERMOKON SENSORTECHNIK. LCF02. In: *Thermokon: Home of Sensor Technology* [online]. Mittenaar-Offenbach: Thermokon Sensortechnik, 2020 [cit.

- 2020-04-07]. Dostupné z: https://www.thermokon.de/download-archive/_processed_/7/4/csm_LCF02_0f8610bbad.jpg
- [16] THERMOKON SENSORTECHNIK. *LCF02 5DO RS485 Modbus*. Mittenaar - Germany, 2020. Dostupné také z: https://www.thermokon.de/download-archive/Raumbediengeräte_-regler/Fancoil-Regler/LCF02%20BUS/Produktblätter/LCF02-5DO_Datasheet_en.pdf
- [17] HomeKit. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/HomeKit#cite_note-10
- [18] DOMAT. *Domat UC102*. Pardubice, 2018. Dostupné také z: https://domat-int.com/wp-content/uploads/domat_UC102_cz.pdf
- [19] DOMAT. *MODBUS, UC102, UC150 Room controllers*. Release 4.12.2014 ver. 13300. Pardubice. Dostupné také z: https://domat-int.com/wp-content/uploads/modbus/UC102_UC200_modbus_en.pdf
- [20] REM-TECHNIK. Digitální termostat LCF02 Modbus. *REM shop* [online]. Brno: Rem-Technik [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.rem-shop.cz/domovni-automatizace/ovladaci-panely/digitalni-termostat-lcf02-2187.html>
- [21] DOMAT CONTROL SYSTEM. *Nabídka UC102*. Pardubice, 2019.
- [22] Raspberry Pi. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi
- [23] Unipi Neuron. *Unipi* [online]. Brno: UniPi.technology, c2014-2020 [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: <https://www.unipi.technology/cs/produkty/unipi-neuron-3?categoryId=2&categorySlug=unipi-neuron>
- [24] BOWLEY, Mac. Is upgrade culture out of date? *Raspberry Pi Blog* [online]. RASPBERRY PI FOUNDATION, 2020, 4th Feb 2020 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/blog/upgrade-culture/>
- [25] RASPBERRY PI FOUNDATION. Raspberry Pi 1 Model B+. *Raspberry Pi* [online]. RASPBERRY PI FOUNDATION, 2020 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-1-model-b-plus/>
- [26] WAGNER, I. Programmable logic controllers: global manufacturer market share 2017. *Statista* [online]. Hamburg: Statista, 2018, Oct 12, 2018 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/897201/global-plc-market-share-by-manufacturer/>
- [27] GEERLING, Jeff. Power Consumption Benchmarks. *Raspberry Pi Dramble* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.pidramble.com/wiki/benchmarks/power-consumption>
- [28] SIEMENS. *6ES7212-1BE40-0XB0 Data sheet*. Siemens. c2020, 2020. Dostupné také z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7212-1BE40-0XB0>
- [29] GISSMATIC AUTOMATISIERUNG. SIEMENS PRODUCT LIFE CYCLE MANAGEMENT. *Gissmatic* [online]. Singapore: Gissmatic Automatisierung,

- 2019 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.gissmatic.com/siemens-product-life-cycle>
- [30] MODBUS ORGANIZATION. *Modbus Application Protocol Specification*. Hopkinton, 2012. Dostupné také z: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf
- [31] APPLE. Nastavení a používání aplikace Domácnost. *Apple* [online]. Cupertino: Apple, 2020, 03. dubna 2020 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT204893>
- [32] APPLE. Framework HomeKit. *Apple* [online]. Cupertino: Apple, 2020 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://developer.apple.com/documentation/homekit>
- [33] LEWIS, Thea. How to Fix: The Developer of This App Needs to Update It to Work with iOS 11/11.1/11.2/11.3. *iMobie* [online]. Chengdu: iMobie, c2020, Mar. 30, 2020 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://www.imobie.com/support/32-bit-apps-on-ios-11.htm>
- [34] APPLE. Choosing a Membership. *Apple Developer* [online]. Cupertino: Apple, 2020 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://developer.apple.com/support/compare-memberships/>
- [35] APPLE. What's New in HomeKit. *Apple Developer* [online]. Cupertino: Apple, 2020, December 18, 2019 [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: <https://developer.apple.com/support/compare-memberships/>
- [36] BMR. *Centrální regulace elektrického topení RT64* [online]. Rychnov nad Kněžnou: BMR [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://www.bmr.cz/produkty/regulace-topeni/rt64>
- [37] APPLE. Privacy. *Apple* [online]. Cupertino: Apple, 2020 [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://www.apple.com/privacy/features/>
- [38] SIEMENS. *Simatic S7-1200 Programmable Controller: System Manual*. V4.4. NÜRNBERG, 2019, 1542 s. Dostupné také z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109772940/simatic-s7-s7-1200-programmable-controller?dti=0&lc=en-US>
- [39] OEZ. *Minia Modulární přístroje*. Letohrad, 2019. Dostupné také z: http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/rsi-mi01-2019_cz_sk.pdf
- [40] FINDER. *Relé do patice / do PS 8 - 10 - 12 - 16 A: Řada 40*. 2018. Dostupné také z: <https://gfinder.findernet.com/public/attachments/40/CS/S40CS.pdf>
- [41] HDO. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/HDO>
- [42] E.ON DISTRIBUCE. *Přehled sazeb a cen za zajišťování distribuce elektřiny: pro zákazníky kategorie D – Domácnosti*. České Budějovice, 2020. Dostupné také z: https://www.eon-distribuce.cz/sites/default/files/2020-01/Přehled%20cen%20distribuce_Domacnosti_2020.pdf
- [43] E.ON DISTRIBUCE. *Požadavky na umístění, provedení a zapojení měřicích souprav u zákazníků a malých výroben s připojovaným výkonem do 250 kW*

- připojených k elektrické síti nízkého napětí*. České Budějovice, 2017. Dostupné také z: eon-distribuce.cz/sites/default/files/2018-08/EON-zapojeni-mericich-souprav.pdf
- [44] VIDIM, Jan. Instalace komunikační sběrnice RS485 v budovách. *IDB Journal*. HMH, 2011, **2011**(1), 15-17.
 - [45] THERMOKON SENSORTECHNIK. Why does my Modbus device not work reliably? *Thermokon* [online]. Mitternhaar: Thermokon Sensortechnik, 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <https://www.thermokon.de/en/support/faq/faq/why-does-my-modbus-device-not-work-reliably/>
 - [46] RS-485. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>
 - [47] Raspberry Pi B+ illustration.svg. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raspberry_Pi_B%2B_illustration.svg
 - [48] CASSIDY, Alison. AppleTV_top.png. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AppleTV_top.png
 - [49] SIEMENS. How do you establish a MODBUS-RTU communication with STEP 7 (TIA Portal) for the SIMATIC S7-1200? *Industry Online Support International* [online]. Siemens, 2020, 02/24/2017 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/47756141/how-do-you-establish-a-modbus-rtu-communication-with-step-7-\(tia-portal\)-for-the-simatic-s7-1200-?dti=0&lc=en-WW](https://support.industry.siemens.com/cs/document/47756141/how-do-you-establish-a-modbus-rtu-communication-with-step-7-(tia-portal)-for-the-simatic-s7-1200-?dti=0&lc=en-WW)
 - [50] SIEMENS. How do you establish a MODBUS-RTU communication with STEP 7 (TIA Portal) for the SIMATIC S7-1200? *Industry Online Support International* [online]. Siemens, 2020, 02/24/2017 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/47756141/how-do-you-establish-a-modbus-rtu-communication-with-step-7-\(tia-portal\)-for-the-simatic-s7-1200-?dti=0&lc=en-WW](https://support.industry.siemens.com/cs/document/47756141/how-do-you-establish-a-modbus-rtu-communication-with-step-7-(tia-portal)-for-the-simatic-s7-1200-?dti=0&lc=en-WW)
 - [51] RASPBERRY PI FOUNDATION. SD cards. *Raspberry Pi* [online]. RASPBERRY PI FOUNDATION, 2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/sd-cards.md>
 - [52] Running on Raspberry Pi. *Node-RED* [online]. OpenJS Foundation [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://nodered.org/docs/getting-started/raspberrypi>
 - [53] Securing Node-RED. *Node-RED* [online]. OpenJS Foundation [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://nodered.org/docs/user-guide/runtime/securing-node-red>
 - [54] SIEMENS. How do you program and parameterize Modbus/TCP communication between S7-1500 CPUs and S7-1200 CPUs? *Industry Online Support International* [online]. Siemens, 2020, 08/15/2019 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/102020340/how-do-you->

- program-and-parameterize-modbus-tcp-communication-between-s7-1500-cpus-and-s7-1200-cpus-?dti=0&lc=en-SK
- [55] KATSIFARAKI, Angelina, Bruno BUENO a Tilmann E. KUHN. A daylight optimized simulation-based shading controller for venetian blinds. *Building and Environment* [online]. 2017, **2017**(126), 207-220 [cit. 2020-04-30]. ISSN 0360-1323. Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132317304523>
 - [56] ELEKTROBOCK CZ. *Prostorový termostat s GSM modulem PT32GST*. Kuřim, 2018, 12 s. Dostupné také z: <https://www.elektrobock.cz/pt32gst-navod/f646>
 - [57] BMR. *Centrální regulace elektrického topení RT64* [online]. Rychnov nad Kněžnou: BMR [cit. 2020-04-29]. Dostupné z:
<https://www.bmr.cz/produkty/regulace-topeni/rt64>
 - [58] BMR. *Řídící jednotka pro regulátory řady HC64: Uživatelský návod*. 3.0. Rychnov nad Kněžnou, 45 s. Dostupné také z: <https://www.bmr.cz/ke-stazeni/navody/regulace-vytapeni?download=362:navod-hc64-ridici-jednotka>
 - [59] FINDER. *Bliss Wi-Fi Chronothermostat 1C.91*. Almese, 06/19n. 1. Dostupné také z: <https://gfinder.findernet.com/public/attachments/1C/EN/IB1C91EN.pdf>
 - [60] Nest Learning Thermostat. *Google Store* [online]. Mountain View: Google [cit. 2020-04-29]. Dostupné z:
https://store.google.com/us/product/nest_learning_thermostat_3rd_gen?hl=en-US
 - [61] NEST LABS. Privacy Statement for Nest Products and Services. *Nest* [online]. Palo Alto: Nest Labs, c2020, January 31, 2020 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z:
<https://nest.com/legal/privacy-statement-for-nest-products-and-services/>
 - [62] NEST LABS. The Architecture of the Nest API. *Nest Developers* [online]. Pao Alto: Nest Labs, c2020, 2019-10-23 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z:
<https://developers.nest.com/guides/api/architecture-overview>
 - [63] GITHUB. Homebridge / HAP-NodeJS. *Github* [online]. San Francisco: Github, c2020 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://github.com/homebridge/HAP-NodeJS>
 - [64] GITHUB. Apple / HomeKitADK. *Github* [online]. San Francisco: Github, c2020 [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <https://github.com/apple/HomeKitADK>
 - [65] GITHUB. NRCHKB / node-red-contrib-homekit-bridged. *Github* [online]. San Francisco: Github, c2020 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z:
<https://github.com/NRCHKB/node-red-contrib-homekit-bridged>
 - [66] VORLÍČKOVÁ, Petra. *Stavební úpravy rodinného domu*. Brno, 2019.
 - [67] ITALTRONIC. Embedded Box Raspberry Pi 3 B/B+. *Italtronic: Enclosures for electronics* [online]. Padova: Italtronic, c2020 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z:
https://eng.italtronic.com/products/embedded_box_en/embedded_box_raspberry_pi_3/
 - [68] RPISHOP.CZ. Raspberry Pi 3 Model B+ 64-bit 1GB RAM. *RPishop.cz* [online]. České Budějovice: RPishop.cz, c2020 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z:

- <https://rpishop.cz/raspberry-pi-3b/896-raspberry-pi-3-model-b-plus-64-bit-1gb-ram-713179640259.html>
- [69] TME CZECH REPUBLIC. 25.0410000.RP3 ITALTRONIC. *TME* [online]. Ostrava: TME Czech Republic [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/it-25.0410000.rp3/krabicky-pro-systemy-embedded/italtronic/25-0410000-rp3/>
- [70] JORK. 6ES7212-1BE40-0XB0: Centrální jednotka S7-1200 - SIMATIC CPU 1212C, varianta AC-DC-Relé. *Jork* [online]. Praha: Jork, c2015 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <http://www.jork.shop/produkt/automatizacni-systemy/ridici-system-simatic-s7-1200/cpu/6es7212-1be40-0xb0-87581.htm>
- [71] JORK. 6ES7241-1CH30-1XB0: Signální modul do CPU - komunikační modul RS485 - SIMATIC S7-1200, CB 1241, RS485. *Jork* [online]. Praha: Jork, c2015 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <http://www.jork.shop/produkt/automatizacni-systemy/ridici-system-simatic-s7-1200/signalni-moduly-vlozene-do-cpu/6es7241-1ch30-1xb0-83545.htm>
- [72] RPISHOP.CZ. Raspberry Pi PoE HAT. *RPishop.cz* [online]. České Budějovice: RPishop.cz, c2020 [cit. 2020-04-24]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/zdroje/1040-raspberry-pi-poe-hat.html>
- [73] UNIPI.TECHNOLOGY. Unipi Neuron M103. *Unipi technology* [online]. Brno: Faster CZ, c2014-2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.unipi.technology/cs/unipi-neuron-m103-p95?categoryId=9>
- [74] SIEMENS. Library of general functions (LGF) for SIMATIC STEP 7 (TIA Portal) and SIMATIC S7-1200 / S7-1500. *Industry Online Support International* [online]. Siemens, 2020, 05/11/2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109479728/library-of-general-functions-\(lgf\)-for-simatic-step-7-\(tia-portal\)-and-simatic-s7-1200-s7-1500?dti=0&lc=en-US](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109479728/library-of-general-functions-(lgf)-for-simatic-step-7-(tia-portal)-and-simatic-s7-1200-s7-1500?dti=0&lc=en-US)
- [75] *Icons8* [online]. Icons8, c2020 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://icons8.com/>
- [76] Glyph-Homekit. In: *Apple Developer* [online]. Cupertino: Apple, c2020 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://developer.apple.com/design/downloads/Glyph-HomeKit.dmg>
- [77] Importing and Exporting Flows. *Node-RED* [online]. OpenJS Foundation [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://nodered.org/docs/user-guide/editor/workspace/import-export>
- [78] Palette Manager. *Node-RED* [online]. OpenJS Foundation [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://nodered.org/docs/user-guide/editor/palette/manager>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Zdrojový kód.....	60
-------------------------------	----

Příloha 1 - Zdrojový kód

Zdrojový kód je rozdělen do dvou složek:

1. Siemens PLC,
2. Raspberrry Pi Node-Red.

Složka Siemens PLC obsahuje projekt implementovaný na PLC. Projekt byl vytvořen v Siemens TIA Portal verze 15 Update 4.

Složka Raspberrry Pi Node-Red obsahuje program pro prostředí Node-Red. Použité nastavení prostředí je popsáno v kapitole 3.4.3. Pro chod je nutné mít nainstalované všechna uvedená rozšíření Node-Red. Pro import programu lze využít postup uvedený v [77].